

-Análisis del Ciclo de Vida de un sistema de depuración en la isla de Gran Canaria como apoyo a las estrategias de mitigación del cambio climático-

Life Cycle Assessment of water purification systems in Gran Canaria as support for climate change mitigation strategies

Autor

Camila Gutiérrez

Director

Gilberto Manuel Martel Rodríguez

Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.

Ponente

María Peña Ormad Melero

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2021



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe entregarse en la Secretaría de la RGA, dentro del plazo de depósito del TFG/TFM para su evaluación).

D./Dña. **Camila Gutiérrez**, en
aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de
septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el
Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,
Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Máster (Título del Trabajo)

Análisis de Ciclo de Vida de un sistema de depuración en Isla de Gran Canaria como
apoyo a las estrategias de mitigación del cambio climático

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser
citada debidamente.

Zaragoza, **14 de Junio de 2021**

GUTIERREZ
CAMILA -
X4829954T

Firmado digitalmente
por GUTIERREZ
CAMILA - X4829954T
Fecha: 2021.06.14
11:30:24 +01'00'

Fdo: **Camila Gutiérrez**

Agradecimientos

Este período de aprendizaje ha sido no solo intenso en el ámbito estudiantil si no personal, es por ello, que debo agradecer, en primer lugar, a Gilberto Manuel Martel Rodríguez y María Peña Ormad Melero por confiar en mí para realizar este proyecto, animarme, ayudarme y estar siempre a mi disposición para que esto saliera adelante.

Por otra parte, me gustaría agradecer también al Instituto Tecnológico de Canarias (ITC S.A) y a la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), por aportarme todas las facilidades para el uso de los equipos, materiales e instalaciones requeridos para el desarrollo de este trabajo y por dejarme participar en el proyecto MITIMAC cofinanciado por el Programa Interreg MAC 2014-2020 (MAC/3.5b/102).

Finalmente, a mi familia, porque sin ustedes no podría haber cumplido este sueño, pero sobre todo a ti mamá, gracias por enseñarme a luchar cada mañana y hacer de mí quién soy hoy en día.

-Análisis de Ciclo de Vida de un sistema de depuración en isla de Gran Canaria
como apoyo a las estrategias de mitigación del cambio climático-

RESUMEN

El agua es el recurso natural más importante del Planeta, es por ello, que el ser humano ha desarrollado diferentes métodos de obtención y/o purificación de esta. Sin embargo, a lo largo de los siglos se observa como este recurso escasea cada vez más. Debido a la alarmante situación se han desarrollado métodos para la cuantificación de los impactos ambientales generados, colaborando así a crear herramientas que permitan la toma de decisiones en la gestión sostenible del agua. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que se basa en la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida.

En este Trabajo Fin de Máster se lleva a cabo en el Análisis de Ciclo de Vida de un sistema de depuración de aguas residuales domésticas situado en la isla de Gran Canaria como apoyo a las estrategias de mitigación del cambio climático. Para ello, se desarrollan las partes que componen el ACV: objetivo, alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación de resultados. El estudio se divide en dos etapas, la fase de construcción y la fase de explotación y mantenimiento, contemplando en cada una de estas etapas los procesos de transporte.

Para el desarrollo de este trabajo se ha utilizado el software *SimaPro*, con la base de datos Ecoinvent y el método de evaluación de impacto ILCD 2011. Gracias a ello se obtiene la información necesaria sobre los impactos ambientales generados en la planta.

Según los resultados obtenidos en el análisis de la etapa constructiva, se observa que los materiales que más contribuyen a la generación de impacto son el acero y el hormigón ya que son los más utilizados. Así mismo, al analizar las categorías de impacto más relevantes, se obtiene que la más elevada es “human toxicity cancer effect” debido a los materiales anteriormente mencionados. En este caso, la categoría “land use” está muy por debajo pese a tratarse de un sistema de depuración que ocupa grandes dimensiones. En cuanto a la etapa de operación y mantenimiento se refiere, se observa una disminución de los impactos generados. La categoría de impacto más elevada en este caso es “climate change”. Esta categoría está asociada a las emisiones generadas en cada uno de los procesos, siendo la fosa séptica la etapa que más impacto genera en esta categoría.

Al comparar los impactos generados en ambas fases, se observa que la fase constructiva genera un mayor impacto que la fase de operación y mantenimiento. La categoría de impacto más elevada en ambos casos es “climate change”, en ella se obtiene una producción de 108,5 kg de CO₂ equivalente. De esta parte 74,7 kg de CO₂ corresponden a la fase constructiva, es decir, un 69% de las emisiones totales

Las mejoras que se plantean en este caso para reducir el impacto generado son las siguientes: Emplear estrategias de sustitución de ciertos materiales por otros menos perjudiciales, reutilizar los residuos y subproductos obtenidos en la fase de operación y mantenimiento o bien, captar el biogás emitido y utilizarlo como combustible en calderas, calentadores.

El Instituto Tecnológico de Canarias continuará investigando sobre la mitigación del cambio climático a través de la innovación del ciclo integral del agua abordando ACV en diferentes estaciones de depuración y regeneración con objetivo de comparar las diferentes alternativas y conocer que tecnologías son las más adecuadas según el ámbito y la escala de aplicación.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y MARCO NORMATIVO DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	3
2.1.	Definición del Análisis de Ciclo de Vida	3
2.2.	Marco normativo del Análisis de Ciclo de Vida.....	4
2.3.	Metodología del Análisis de Ciclo de Vida	4
3.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y RESULTADOS	8
3.1.	Definición del objetivo y el alcance del ACV	8
3.1.1.	Objetivo del ACV	8
3.1.2.	Alcance	8
3.2.	Análisis de Inventario	13
3.2.1.	Recopilación de los datos	13
3.2.2.	Ajuste de los límites del sistema.....	24
3.3.	Evaluación de impacto del ciclo de vida e interpretación.....	24
3.3.1.	Evaluación e interpretación de los impactos de la fase constructiva.....	25
3.3.2.	Evaluación e interpretación de los impactos de la fase de explotación y mantenimiento	27
3.3.3.	Comparativa de los impactos generados en la fase constructiva y de mantenimiento	29
4.	CONCLUSIONES.....	31
5.	BIBLIOGRAFÍA	33
6.	RELACIÓN DE ANEXOS	35
6.1.	Anexo I: Análisis de inventario	35
6.1.1.	Obra de llegada y rejas de desbaste	35
6.1.2.	Fosa séptica.....	37
6.1.3.	Arqueta sifón y caudalímetro	38
6.1.4.	Humedales flujo vertical.....	40

6.1.5.	Humedal flujo horizontal.....	42
6.1.6.	Almacenamiento.....	43
6.1.7.	Zonas de paso y conducciones.....	44
6.1.8.	Transporte.....	46
6.1.9.	Mantenimiento y explotación	47
6.2.	Anexo II: Resumen analíticas EDAR Santa Lucía en el año 2018.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del análisis de ciclo de vida [4]	3
Figura 2. Marco de referencia de un ACV [2].....	5
Figura 3. Esquema depuradora Santa Lucía [9]	10
Figura 4. Alcance del estudio. [Elaboración propia]	11
Figura 5. Eficiencias de eliminación [9].....	12
Figura 6. Residuos depositados en la reja de desbaste.	21
Figura 7. Residuos acumulados sobre el humedal vertical.....	22
Figura 8. Crecimiento de la Typha.	23
Figura 9. Acumulación de la Typha en las inmediaciones.	24
Figura 10. Evaluación de impactos de la fase de construcción (caracterización)	25
Figura 11. Evaluación de impactos de la fase de construcción (puntuación única)	26
Figura 12. Evaluación de impactos por etapa.....	27
Figura 13.Evaluación de impactos de la fase de operación y mantenimiento (Puntuación única)	28
Figura 14.Evaluación de impactos de la fase de operación y mantenimiento (Normalización).....	28
Figura 15. Evaluación de impactos de ambas fases (caracterización).....	30
Figura 16.Evaluación de impactos de ambas fases (puntuación única).	30
Figura 17. Impermeabilización humedal.	41
Figura 18. Puntos de muestreo de la EDAR.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales y cantidades necesarias en la Fase constructiva del sistema de depuración de Santa Lucía.....	14
Tabla 2. Materiales y cantidades necesarias en la Fase constructiva del sistema de depuración de Santa Lucía. (<i>continuación I</i>).....	15
Tabla 3. Materiales y cantidades necesarias en la Fase constructiva del sistema de depuración de Santa Lucía. (<i>continuación II</i>)	16
Tabla 4. Proveedores de materiales.	17
Tabla 5. Rendimiento de eliminación y cantidades de DBO ₅	18
Tabla 6. Cantidades de residuos/subproductos generados.....	23
Tabla 7. Resumen de valores indicativos de las aguas a entrada de la planta (punto de muestreo 1).	50
Tabla 8. Resumen de valores indicativos de las aguas a la salida de la fosa séptica (punto de muestreo 2).	51
Tabla 9. Resumen de valores indicativos de las aguas a la entrada del humedal vertical (punto de muestreo 3).....	52
Tabla 10. Resumen de valores indicativos de las aguas a la salida del humedal vertical derecho (punto de muestreo 4) Entrada humedal flujo horizontal.	53
Tabla 11. Resumen de valores indicativos de las aguas a la salida del humedal vertical izquierdo (punto de muestreo 5).....	54
Tabla 12. Resumen de valores indicativos de las aguas a la salida del humedal horizontal (punto de muestreo 6).....	55

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Según el Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico se define cambio climático como *“variación global del clima de la tierra debido a causas naturales y a la acción del hombre que se produce sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidades... en muy diversas escalas de tiempo”*

La conciencia ambiental en los seres humanos ha ido aumentando conforme pasan los años, la preocupación y su posterior actuación por el cambio climático ha conseguido que, en cierta forma, se disminuya el daño provocado al medio ambiente. Aun así el impacto potencial es muy elevado, se prevé falta de agua potable, cambios en las condiciones de producción de alimentos, aumento de las inundaciones y/o sequías...

El agua es un recurso limitado y escaso cuya producción está directamente entrelazada con la energía, por ello, se debe alcanzar una gestión más sostenible de las mismas. Es necesario disponer no solo de variabilidad de tecnologías que puedan adaptarse a las necesidades si no también tener herramientas que permitan la toma de decisiones en la gestión sostenible del agua.

El desarrollo y posterior estudio de diversas instalaciones de depuración y regeneración, en el territorio europeo, nacional y local ha permitido fortalecer la creación de tecnologías novedosas capaces de adaptar el ciclo integral del agua para la disminución y mitigación del cambio climático. Con esta intención se plantea el proyecto MITIMAC “Mitigación del cambio climático a través de la innovación en el ciclo del agua mediante tecnologías bajas en carbono” propulsor de este Trabajo Fin de Máster (TFM), en el cual se realiza el Análisis de Ciclo de Vida de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) ubicada en la Isla de Gran Canaria, en el municipio de Santa Lucía.

El objetivo principal de este TFM es contribuir a la mitigación del cambio climático a través de la innovación del ciclo integral del agua mediante la evaluación ambiental de un sistema de depuración y regeneración abordando el Análisis de Ciclo de Vida de la misma. Es decir, se estudian los impactos generados a lo largo del Ciclo de Vida de la planta. Para llevar a cabo el objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos parciales:

- Definir el objetivo y alcance del propio ACV. Este debe incluir; el sistema de estudio, la unidad funcional utilizada, los límites del sistema impuestos, los requisitos de calidad de los datos y la revisión crítica si fuera necesario.
- Realizar el inventario de la instalación. Para ello, es necesario estudiar los procesos que la componen, los procesos de mantenimiento y explotación, etc. Se diferencian dos inventarios, el primero corresponde con los materiales utilizados en la construcción de los procesos que configuran la EDAR (fase constructiva) y el segundo a las emisiones, residuos y/o subproductos generados en la fase de operación y mantenimiento de cada uno de los procesos (fase de operación y mantenimiento)

- Identificar y evaluar los impactos medioambientales más relevantes de la fase de construcción y de la fase de operación y mantenimiento. Para ello, se analizan los resultados obtenidos mediante el programa SimaPro. Además, se analiza cuáles de los procesos que configuran la EDAR son los que contribuyen a una mayor generación de impacto en cada una de las etapas.
- Comparar los impactos ambientales generados en las dos etapas (construcción y mantenimiento). Gracias a ello, se pretende obtener, una estimación sobre cual de las dos etapas contribuye a una mayor generación de impacto.
- Plantear mejoras en la EDAR para reducir los impactos generados.

Así mismo, cabe destacar la contribución de este proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible plantea 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental [1]. En este TFM se contribuye en los ODS siguientes:

- Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
- Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos
- Objetivo 15: Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.

Este trabajo se realiza en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), dentro del departamento de Agua, apoyado por el equipo de trabajo y socios del proyecto MITIMAC, cofinanciado por el Programa Interreg MAC 2014-2020 (MAC/3.5b/102) y sus resultados se integraran en este proyecto.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y MARCO NORMATIVO DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

En este capítulo se define el concepto de Análisis de Ciclo de Vida, además, se describen las cuatro fases que lo componen: definición de los objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación de los impactos e interpretación de los resultados.

2.1. Definición del Análisis de Ciclo de Vida

Se define Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida [2]. El ciclo de vida (CV) es el conjunto de las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales, hasta la disposición final en vertedero [2]. En la Figura 1 se muestra un esquema generalizado del análisis de ciclo de vida de cualquier producto o proceso, en el cual se tiene unas entradas (energía o recursos naturales) y unas salidas (emisiones, residuos...) así como los posibles impactos ambientales que pueden generar.

El ACV es una metodología general que puede aplicarse parcialmente según el nivel de detalle requerido por los objetivos propuestos. Existen tres diferentes tipos de ACV [3]: el conceptual, el simplificado y el completo. El primero de ellos, se trata de un estudio cualitativo cuya función es identificar los impactos más significativos de forma muy genérica. El segundo tipo, realiza un ACV más completo centrándose en las etapas



Figura 1. Esquema del análisis de ciclo de vida [4]

más importantes y analizando los datos que se consideren más importantes. El último de ellos es el más complejo ya que se basa en un análisis completo en detalle, teniendo en cuenta los impactos, etapas e inventario tanto a nivel cualitativo como cuantitativo.

Los ACV se pueden clasificar, además, según el alcance descrito en el mismo. En función de las etapas que componen el ACV se tienen los siguientes tipos [5]:

- De la cuna a la puerta (*cradle to gate*): solo considera etapas de extracción de materias primas y transporte hasta la fábrica.
- De la puerta a la puerta (*gate to gate*): evaluación del proceso productivo.
- De la cuna a la tumba (*cradle to grave*): considera todas las entradas y salidas a lo largo de su ciclo de vida.
- De la cuna a la cuna (*cradle to cradle*): El producto final es considerado como un nuevo elemento que comienza otro ciclo de vida

2.2. Marco normativo del Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis de Ciclo de Vida es una metodología que se encuentra totalmente estandarizada, siendo la legislación por la que se rige la siguiente:

- UNE-EN ISO 14040:2006: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14041:2006: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición de los objetivos y alcance y el análisis de inventario
- UNE-EN ISO 14042:2006: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación de impacto del ciclo de vida.
- UNE-EN ISO 14043:2006: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida.

2.3. Metodología del Análisis de Ciclo de Vida

Un ACV se basa en la ejecución de las fases estipuladas por las normas UNE-EN ISO 14040, 14041, 14042 y 14043. En la Figura 2 se muestra un esquema de las fases que componen el ACV que se describen a continuación.

1. Definición del objetivo y alcance [6]: en esta primera etapa se detalla el motivo por el cual se realiza el estudio, el tipo de estudio que se realiza y cuál es la finalidad de los resultados.

El objetivo ha de ser claro y conciso, en él se detallan las razones por las que se realiza el estudio, a quien va destinado y cuál es la finalidad de los resultados.

El alcance de un ACV debe considerar y definir los siguientes aspectos:

- Sistema de estudio: Se exponen las características de operación del mismo y cuál es el objetivo del sistema. Además se define el conjunto de procesos que lo compone.

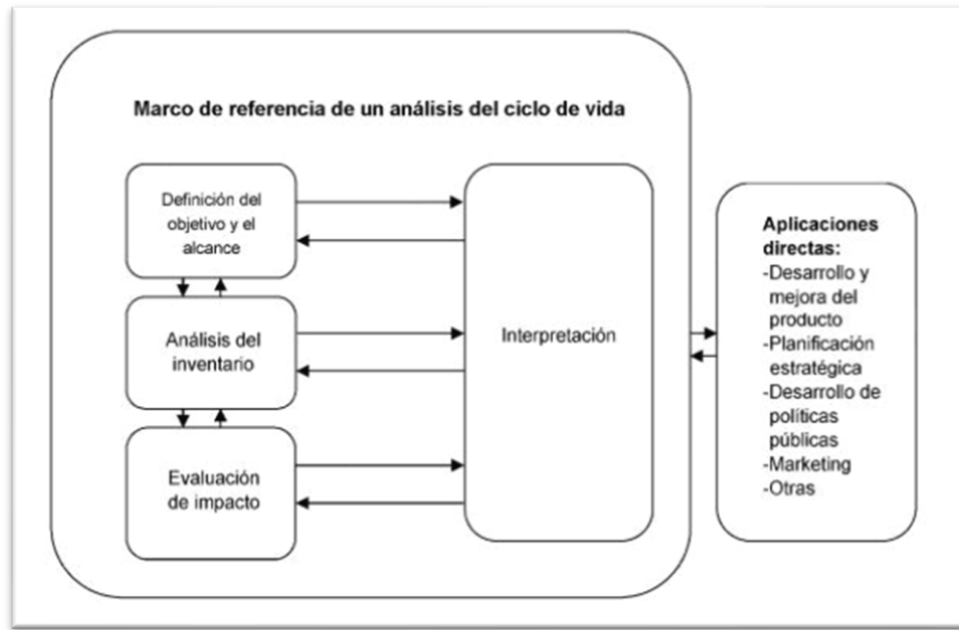


Figura 2. Marco de referencia de un ACV [2].

- **Unidad funcional:** El objetivo de la unidad funcional es proporcionar una referencia para las entradas y salidas del sistema, consiguiendo así normalizar dichos datos. Gracias a ello, se permite comparar las diferentes etapas del producto o proceso entre sí e incluso comparar sistemas que utilicen esta misma unidad funcional.
- **Límites del sistema:** Se delimita el sistema de estudio, es decir, se definen que etapas del sistema estarán incluidas en el ACV y cuáles no. En este punto es muy importante mantener la consonancia con el objetivo propuesto ya que no se han de excluir aquellas etapas que condicionen el mismo.
- **Requisitos de calidad de los datos:** La calidad de los datos queda definida mediante el conocimiento de la antigüedad de los datos y el rango de validez, la localización geográfica de los datos y las reglas de corte que se aplican.
- **Revisión crítica:** Para asegurar la calidad del ACV es preciso someter el estudio a una revisión crítica. Para ello, se puede solicitar una auditoría interna, la propia empresa realiza una revisión, externa, se envía a un centro especializado de revisión o involucrar a las partes interesadas que han sido descritas en el objetivo.

2. **Análisis de inventario [6]:** En esta segunda etapa se efectúa la recopilación de datos, flujos de entrada y salida, tanto de materia como de energía. El inventario consta de: un listado detallado que cuantifique las entradas y salidas de cada proceso y de la descripción de los métodos empleados en cada etapa. Así mismo, las etapas del análisis de inventario son las siguientes:

- Recopilación de datos: Existen tres tipos de recopilación de datos; la primera es conocer el historial bibliográfico y extraer los datos necesarios del mismo. La segunda es la búsqueda de sistemas similares en los que se pueda establecer una relación fiable de los datos con el sistema que se pretende estudiar. La tercer y última es recurrir a bases de datos existentes obtenidos a partir de datos promedios de otros estudios similares que ya han sido realizados.
- Ajuste de los límites del sistema: Los límites del sistema quedan descritos en el alcance del estudio pero tras realizar la recopilación de datos, en ocasiones, resulta necesario realizar una modificación de los mismos. En este caso, se pueden excluir etapas, flujos de entrada o salida, etc.
- Validación de los datos: En la recopilación de datos se debe llevar una validación de los mismos para asegurar la calidad de estos. Para ello se realizan balances de materia y/o energía o comparativas de los factores de emisión con datos ya existentes.

3. Evaluación de impacto [7]: Esta evaluación establece una relación entre los datos recopilados en el análisis de inventario y las cargas ambientales generadas por los mismos. Para realizar la evaluación es aconsejable disponer de un programa informático que efectúe los cálculos de forma rápida y fiable. Existe una gran variabilidad de programas como SimaPro, Boustead, Umberto, Open LCA, etc. Cada uno de ellos tienen diferentes metodologías de evaluación. Este proceso de evaluación se lleva a cabo en 5 diferentes etapas, clasificación, caracterización, normalización, ponderación y evaluación de daños siendo estas últimas tres etapas opcionales.

En primer lugar, se definen y seleccionan las categorías de impacto. Se define como categoría de impacto como una clase representativa de las variables medioambientales a las que pueden asignarse los resultados del inventario [7].

- Clasificación: Se basa en agrupar las cargas ambientales de las diferentes entradas y salidas de recursos y energía en función de los efectos ambientales producidos. Cabe destacar que hay determinados resultados que contribuyen a más de una categoría, el efecto producido por la repetición del algún factor se aceptará siempre que estos resultados sean independientes [7].
- Caracterización: Proceso por el cual se obtiene la contribución potencial de cada compuesto detectado en el análisis de inventario a un determinado efecto ambiental [7]. Existen programas informáticos en los que se consigue directamente el resultado de caracterización sin necesidad de realizar cálculos aparte.

Estos dos procesos se obtienen directamente como un resultado del programa, es decir, el mismo programa es el que obtiene la clasificación y caracterización del estudio, sin necesidad de hacerlo manualmente.

4. Interpretación del ACV: Se obtiene como combinación de los resultados extraídos del análisis de inventario y de la evaluación de impacto. En la interpretación de los resultados se comprueba que dichos resultados están adecuados a las definiciones descritas en el objetivo y el alcance. Así mismo, se incluye la identificación de los aspectos ambientales más significativos, su posterior evaluación y las conclusiones obtenidas como resultado de dicha evaluación.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

En este capítulo se aplica el Análisis de Ciclo de vida a una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) localizada en la isla de Gran Canaria. En primer lugar, se define el objetivo del ACV y el alcance del estudio. En segundo lugar, se detalla el análisis de inventario. Cabe destacar, que este ha sido dividido en dos partes, la fase de construcción y la fase de mantenimiento y explotación. Finalmente, mediante el uso del programa **SimaPro versión 9.1.1** se obtienen los resultados que permiten realizar la evaluación de impactos.

3.1. *Definición del objetivo y el alcance del ACV*

3.1.1. *Objetivo del ACV*

El objetivo principal de este ACV se basa en conseguir una estimación del impacto ambiental generado en el ciclo de vida de un sistema de tratamiento de aguas residuales (AR) mediante depuración biológica. Este trata los vertidos generados en el municipio de Santa Lucía de Tirajana con 1000 habitantes y 500 *habitantes equivalentes*¹ de la isla de Gran Canaria. Para ello, se lleva a cabo un ACV completo, desde la cuna hasta la puerta, es decir, se consideran los impactos asociados desde la entrada de la materia prima (construcción de la depuradora) hasta el uso de la instalación.

Este ACV va dirigido a cualquier entidad o persona que desee comparar o conocer el impacto ambiental generado por una depuradora biológica de las características descritas en este estudio. Así mismo, puede ser utilizado para la toma de decisiones en la planificación de modelos de tratamiento y reutilización en zonas con características similares a las planteadas en el estudio.

3.1.2. *Alcance*

3.1.2.1. *Descripción del sistema de depuración*

La necesidad de depurar las aguas residuales viene determinada por el deterioro progresivo de los medios receptores y el alto riesgo para la salud pública. Es por ello, que estas tienen como principal objetivo eliminar y retirar las impurezas y agentes contaminantes antes de ser vertidas al medio o bien antes de ser reutilizadas [8].

El grado de tratamiento depende de las características del medio receptor y estado de las aguas del mismo, la relación de caudales entre el medio receptor y el vertido, la utilización por parte de otros usuarios aguas abajo del vertido, el balance hídrico de la zona y la fauna y flora de los alrededores [8].

El sistema de depuración de estudio opera con un caudal medio de 37 m³/día. Este dato se ha obtenido de los datos promedio de caudales de entrada a lo largo de los años.

¹ Habitante equivalente: Carga orgánica biodegradable con una DBO₅ de 60 gramos de oxígeno por día.

En la práctica el sistema está sometido tanto a variaciones de caudal horarias, diarias como estacionales, pero que no se consideran relevantes de cara a este estudio.

El proceso de depuración está constituido por:

- Obra de llegada: El agua transportada a través del colector llega a un canal, el cual dispone de una compuerta manual que permite cerrar la entrada de alimentación a la planta en caso de necesidad.
- Desbaste: Se dispone de una reja de desbaste, de limpieza manual con 2 cm de luz de paso.
- Fosa séptica: Se dispone de una fosa séptica que opera como cámara de sedimentación y retención de flotantes.
- Tanque Imhoff: Este tratamiento se basa en un sistema de decantación-digestión, para la eliminación de sólidos en suspensión. La capacidad del tanque es de 15000 litros. Este fue diseñado e implantado para una capacidad de 100 habitantes equivalentes pero, debido a que la planta opera para una cantidad superior, los tiempos de residencia en dicha etapa son tan bajos que no se aprecian cambios significantes en las analíticas. Es por ello por lo que se ha optado por considerar la fosa séptica y el tanque Imhoff como una única etapa en la que los parámetros de entrada corresponden con los de la fosa séptica y los de salida con los del tanque Imhoff. Al conjunto de estas dos etapas se le denomina “Fosa Séptica” ya que esta fase es la que contribuye en mayor medida a la eliminación de los parámetros de estudio.
- Arqueta de sifón de descarga discontinua al humedal de flujo vertical: Esto permitirá una alimentación intermitente sin tener que recurrir a bombas de alimentación. La arqueta dispone de una entrada de agua residual procedente del tanque Imhoff y tres conexiones de salida, dos destinadas a alimentar cada uno de los humedales de flujo vertical y una salida hacia el humedal de flujo horizontal y un rebosadero hacia barranco.
- Humedal artificial de flujo vertical (HFV): En este caso se tienen dos humedales de flujo vertical de 150 m² cada uno de ellos dispuestos en paralelo (HFV derecho y HFV izquierdo), mientras que uno se encuentra operativo, el otro está en reposo. El sustrato filtrante de los humedales está constituido; por una capa de 20 cm de grava donde se embutirán las tuberías de drenaje que conectarán con chimeneas de ventilación que sobresaldrán y por otra capa de 80 cm hasta completar el metro de profundidad de la misma. Cabe destacar que, para los cálculos posteriores se considera que se tiene un único humedal vertical cuyas dimensiones son la suma de los dos humedales por separado.
- Humedal artificial de flujo horizontal (HFH): Las aguas procedentes del HFV se unen y se envían al HFH. La descarga se produce superficialmente, en cabecera del humedal, a través de una tubería de reparto. Las aguas discurren

horizontalmente, a través del medio poroso de gravas de diferente granulometría hasta la arqueta de salida. Se tiene un humedal de flujo horizontal de 300 m² de forma cuadrada.

- Laguna de acumulación: El efluente se conduce a una laguna de acumulación que permitirá su posterior reparto para riego agrícola.

En la Figura 3 se muestra un esquema de los procesos que componen la planta. El humedal que se encuentra en la parte derecha de la depuradora se denomina HFVD y el que se encuentra a la izquierda HFVI.

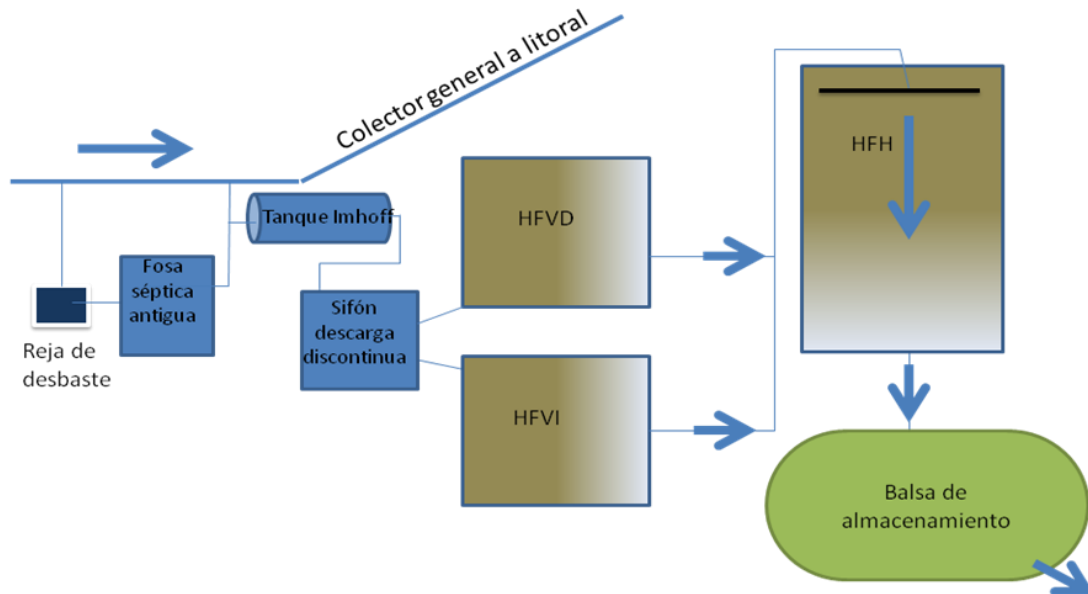


Figura 3. Esquema depuradora Santa Lucía [9]

3.1.2.2. *Unidad funcional*

En este caso se escoge como unidad funcional 1 habitante equivalente (h.e.) ya que dicha unidad funcional considera la carga orgánica que contiene el agua así como el caudal de entrada al sistema.

Se estima que la planta opera para una dotación de unos 500 habitantes equivalentes por lo que los cálculos se realizarán teniendo en cuenta este último dato.

3.1.2.3. *Límites del sistema*

Las etapas/aspectos que si se tienen en cuenta en el análisis son los siguientes:

- Materiales de construcción de las instalaciones y transporte de los mismos.
- Construcción de la instalación teniendo en cuenta los consumos de energía/combustible requeridos.
- Mantenimiento y explotación.

- El impacto del tratamiento y disposición final de los desechos que se incluirán en el vertedero o serán tratados como subproductos.

La etapa excluida del análisis es el desmantelamiento de la planta, debido a que esta sigue en funcionamiento y no se tienen referencias suficientes para tener en cuenta esta etapa. Así mismo, también se prescinden las cargas relativas a la fabricación de la maquinaria e infraestructura necesaria para la extracción y transporte de cualquier materia prima o material utilizado en la construcción de la planta o los materiales, desechos o subproductos que resultan del mantenimiento de la misma.

En la Figura 4 se muestran las etapas que están incluidas en el estudio (cuadro rojo) y aquellas que no han sido consideradas para el mismo.

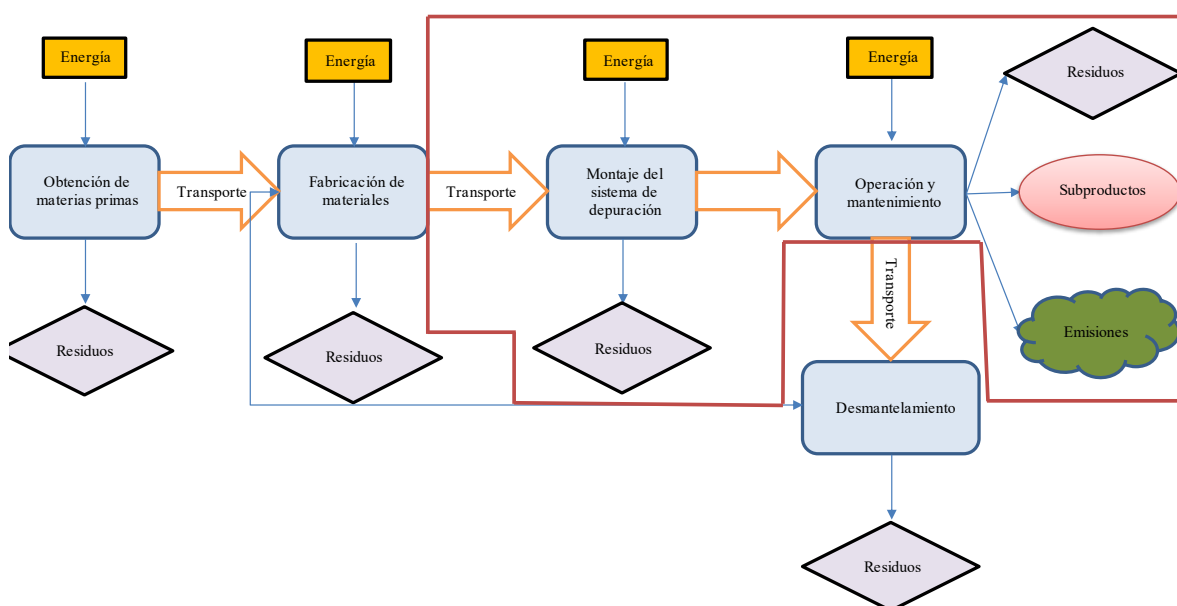


Figura 4. Alcance del estudio. [Elaboración propia]

3.1.2.4. *Requisitos de calidad del sistema*

- Límite geográfico: La depuradora de estudio se encuentra localizada en la isla de Gran Canaria, en el municipio de Santa Lucía de Tirajana. La Villa de Santa Lucía se encuentra a 680 metros de altura en la vertiente solana del Barranco Real de las Tirajanas. Debido a la morfología del terreno se forman mesetas de secano, valles modelados por huertas irrigadas y un gran número de cuencas excavadas por los antiguos cursos del agua donde crecen palmerales y cultivos de olivos. La depuradora fue construida por la Mancomunidad Intermunicipal del Sureste de Gran Canaria, en el marco del proyecto DEPURANAT, cofinanciado por la Iniciativa Comunitaria INTERREG III B, Espacio Atlántico. Este proyecto piloto fue diseñado y desarrollado en cooperación con la Fundación Centro de Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA) de Andalucía y el Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (ITC).

- Límites temporales: La puesta en marcha de la depuradora se realizó en junio de 2008, pero debido a los problemas de mantenimiento que presentaba, no se realizó un seguimiento periódico hasta años más tarde. A partir del año 2010, se tiene un registro mensual de los parámetros de entrada y salida de la planta. Gracias a ello, se ha podido comparar los resultados de las analíticas en los diferentes años y se ha observado que la depuradora opera en condiciones estables desde entonces, manteniendo relativamente constante los rendimientos de eliminación. En consecuencia se considera oportuno establecer el horizonte temporal de este estudio en el año 2018. En la Figura 5 se observan las eficiencias de eliminación de DQO, DBO y Sólidos en Suspensión desde el año 2010 hasta el 2016 que como se observa, son similares a lo largo de los años.

- Rango de validez de los datos: Se estima que la vida útil de la planta es de 20 años, es decir, las eficiencias de eliminación se mantienen constantes a lo largo de ese periodo de tiempo. Tras 20 años, no se puede afirmar que los resultados obtenidos sean los mismos.

- Reglas de corte de datos: Es necesario establecer unas reglas de cortes igualitarias para todos los casos. Por ello, se analizan solamente los componentes que presenten un peso superior al 5% del sistema, siempre y cuando no se omitan partes importantes que presenten factores de peligrosidad o toxicidad importantes.

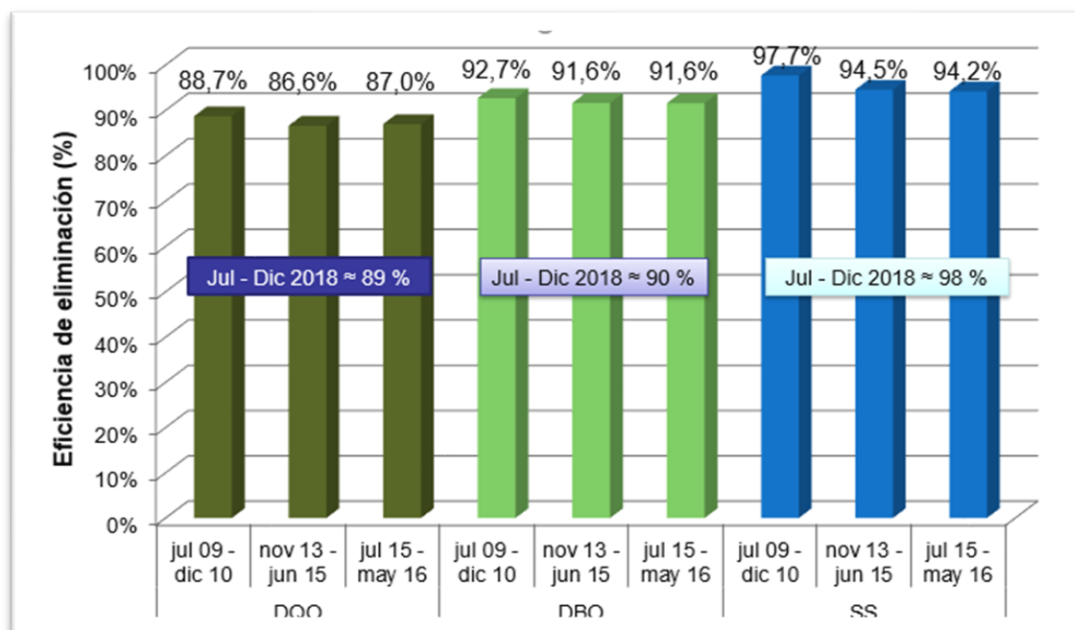


Figura 5. Eficiencias de eliminación [9]

3.1.2.5. *Revisión crítica*

En este caso, el estudio no será sometido a revisión crítica. En consecuencia, se compararan los resultados obtenidos con los resultados de estudios similares en lo que se utilice la misma unidad funcional.

3.2. *Análisis de Inventario*

En este apartado se muestra el análisis de inventario realizado de la depuradora seleccionada. Para ello, se ha descrito previamente las instalaciones ([Funciones y descripción del sistema](#)) de tal manera que se conozcan todos los procesos que la componen.

La recopilación de datos resulta de dos partes; una asociada a la fase constructiva, en donde se recogen todos los materiales y procesos necesarios para la construcción de la depuradora y otra fase de mantenimiento y explotación. En esta última se tienen las emisiones, los residuos y los subproductos que se generan en la planta.

3.2.1. Recopilación de los datos

3.2.1.1. *Fase constructiva*

Materiales utilizados

En este apartado se definen las cantidades de los componentes principales de cada una de las etapas que conforman la estación depuradora de Santa Lucía, siendo estas, la obra de llegada, el desbaste, la fosa séptica, la arqueta de sifón y la de los caudalímetros, los humedales verticales, los humedales horizontales, la balsa de almacenamiento, los elementos de interconexión y las zonas de paso.

Para el cálculo de las cantidades necesarias así como los materiales que se han utilizado para la construcción de la depuradora, se toman como referencia las memorias constructivas tanto de la depuradora de Santa Lucía como la de la depuradora de Calheta (Isla de Maio en Cabo Verde) de similares características a la EDAR de Santa Lucía. Esta última se requiere para el cálculo de elementos tales como la fosa séptica y las arquetas de interconexión que no se encontraban en la memoria de Santa Lucía.

En la Tabla 1 se especifican las cantidades y materiales necesarios para la construcción de cada una de las etapas a modo resumen. En el [Anexo I: Análisis de inventario](#) se detallan los cálculos realizados en las diferentes etapas que componen el sistema

Tabla 1. Materiales y cantidades necesarias en la Fase constructiva del sistema de depuración de Santa Lucía.

Acción relevante	Componente	Nº de componentes	Material / consumo	Cantidad total	Unidades por habitante equivalente
Fabricación de arqueta desbaste	Arqueta reja desbaste	1	Hormigón de limpieza	7,99E-04	m ³
	Reja	1	Acero inoxidable	2,75E-01	kg
	Placas de cierre desbaste	1	Acero inoxidable	9,03E-01	kg
Fabricación arqueta llegada	Arqueta compuerta	1	Hormigón de limpieza	1,82E-04	m ³
	Placas de cierre de llegada	1	Acero inoxidable	8,79E-02	kg
Ocupación del terreno desbaste y obre de llegada	Terreno	1	Ocupación	6,73E-03	m ²
Excavación desbaste y obra de llegada	Máquina excavadora	1	Gasóleo	1,54E-01	l
Fabricación del tratamiento primario	Fosa y tanque imhoff	1	Hormigón de limpieza	2,97E-02	m ³
		1	Mallazo	1,67E+00	kg
		1	Pintura/ barniz acrílico	7,18E-03	kg
		1	Bloques rellenos	6,48E+01	kg
Ocupación del terreno fosa séptica	Terreno	1	Ocupación	7,77E-02	m ²
Excavación fosa séptica	Máquina excavadora	1	Gasóleo	1,54E-01	l
Fabricación de arqueta sifón	Arqueta sifón	1	Hormigón de limpieza	1,60E-03	m ³
Fabricación de arqueta caudalímetro	Arqueta caudalímetro	1	Hormigón de limpieza	1,20E-03	kg
	Caudalímetros	3	Acero inoxidable	6,60E-02	kg

Tabla 2. Materiales y cantidades necesarias en la Fase constructiva del sistema de depuración de Santa Lucía. (continuación I)

Acción relevante	Componente	Nº de componentes	Material / consumo	Cantidad total	Unidades por habitante equivalente
Tuberías y accesorios de drenaje	Tuberías sifón y caudalímetro	1	PE (d=970kg/m3)	2,71E-01	kg
Ocupación del terreno arquetas	Terreno	1	Ocupación	2,00E-02	m ²
Excavación arquetas caudalímetro y sifón	Máquina excavadora	1	Gasóleo	4,36E-02	l
Fabricación arqueta llegada HV	Arqueta	2	Hormigón de limpieza	1,00E-03	m ³
	Placas de cierre desbaste	1	Acero inoxidable	3,14E-01	kg
Fabricación HFV	Humedal vertical	1	Grava 30/32	6,31E+02	kg
		2	Geotextil 2 láminas	4,71E-01	kg
		1	plástico impermeabilizante (EPDM)	1,61E-01	kg
Tuberías y accesorios de drenaje HFV	Tuberías	1	PE (d=970kg/m3)	1,77E+00	kg
Ocupación del terreno HFV	Terreno	1	Ocupación	4,90E-01	m ²
Excavación HFV y arqueta HFV	Máquina excavadora	1	Gasóleo	5,33E-01	l
Fabricación arqueta llegada HF	Arqueta	1	Hormigón de limpieza	5,00E-04	m ³
	Placas de cierre desbaste	1	Acero inoxidable	3,14E-01	kg

Tabla 3. Materiales y cantidades necesarias en la Fase constructiva del sistema de depuración de Santa Lucía. (continuación II)

Acción relevante	Componente	N° de componentes	Material / consumo	Cantidad total	Unidades por habitante equivalente
Fabricación HFH	Humedal horizontal	1	Grava 30/32	6,88E+02	kg
		2	Geotextil 2 láminas	5,34E-01	kg
		1	plástico impermeabilizante (EPDM)	1,83E-01	kg
Tuberías y accesorios de drenaje	Tuberías	1	PE	1,27E-01	kg
Ocupación del terreno HFH	Terreno	1	Ocupación	6,64E-01	m ²
Excavación HFH y arqueta HFH	Máquina excavadora	1	Gasóleo	6,13E-01	l
Fabricación laguna almacenamiento	Laguna	1	Hormigón de limpieza	1,60E-01	m ³
		1	Geotextil	1,74E-01	kg
		1	plástico impermeabilizante (EPDM)	1,19E-01	kg
Ocupación del terreno laguna	Terreno	1	Ocupación	4,00E-01	m ²
Excavación laguna	Máquina excavadora	1	Gasóleo	3,63E-01	l
Tuberías de conexión	Tuberías	1	PE (d=970kg/m3)	1,12E+00	kg
Ocupación del terreno tuberías conexión	Terreno	1	Ocupación	5,80E-02	m ²
Excavación tuberías de conexión	Máquina excavadora	1	Gasóleo	2,63E-02	l
Vallado de la instalación	Acero	1	Acero	4,00E+00	kg

Transporte de los materiales de construcción

Cada material tiene su proveedor, conocido este se obtiene la distancia entre la empresa y la depuradora de Santa Lucía. Este dato es necesario ya que con él se obtiene el impacto que genera el transporte de los materiales.

Todos los materiales excepto el Geotextil y el EPDM se compran en Gran Canaria por lo que el transporte utilizado son camiones. El Geotextil y el EPDM proviene de la Península Ibérica por lo que se necesita no solamente camiones, si no, también el barco entre Huelva y Las Palmas de Gran Canaria.

En la Tabla 4 se muestran los proveedores, las distancias desde los mismos hasta la depuradora, la cantidad total a transportar y el tipo de transporte utilizado.

Tabla 4. Proveedores de materiales.

Material	Proveedor	Distancia (km)	Cantidad total a transportar (kg)	Tipo de transporte
Hormigón	Cementera Arguineguín	47,8	9,45	Camión
Acero y pintura	Polígono Arinaga	28	20	Camión
Grava	Machacadora Pozo Izquierdo	23,7	1319	Camión
Tuberías	Siscocan el Goro	33,6	3,29	Camión
EPDM	Rials Extrucción Técnica	2100	0,46	Barco/Camión
Geotextil	Tingueo	1476	1,18	Barco/Camión

3.2.1.2. Fase de explotación y mantenimiento

Emisiones al suelo y al medio hídrico

Las emisiones asociadas a cada proceso vienen determinadas por las condiciones en la que operan cada una de las etapas. Así mismo, debido a que todo el sistema se encuentra impermeabilizado, no existen emisiones al suelo. Además, ya que el agua depurada que se obtiene al final del proceso de depuración es reutilizada en cultivo de olivos, no se tendrán en cuenta las emisiones al medio hídrico. Si por el contrario, el agua depurada fuera vertida al dominio público hidráulico (medio marino, cauce o al subsuelo), sí que se considerarían dichas emisiones.

Cabe destacar, que en este estudio no se tiene en cuenta el impacto generado por el agua utilizada para riego de los olivos debido a las limitaciones existentes. Así mismo, se podría plantear un ACV para los olivos en donde el agua necesaria para riego se obtuviera

de la balsa de almacenamiento. En este caso, se considera que el agua depurada se mantiene en la balsa de almacenamiento sin tener en cuenta que pasa con ella posteriormente.

Por tanto, las únicas emisiones que se producirán en el sistema de depuración de Santa Lucía serán emisiones a la atmósfera, en forma de CO₂, CH₄, H₂S, H₂O o N₂, en función de las condiciones de operación.

Emisiones a la atmósfera

En el caso de Santa Lucía, al tratarse de un sistema de depuración compuesto por: desbaste, fosa, humedales y almacenamiento, los procesos que generan emisiones son la fosa y los humedales. Estos operan en condiciones predominantemente anaerobias, es decir, eliminan las sustancias orgánicas presentes en el agua residual favoreciendo el desarrollo de microorganismos anaerobios en ausencia de oxígeno. Este tipo de proceso es capaz de transformar hasta el 95% de la materia orgánica en una mezcla de CO₂ y CH₄ y algunas trazas de H₂S. De la cantidad de contaminantes orgánicos eliminados, el 95% se convierte en dicha mezcla y el 5% restante, se transforma en biomasa activa [9].

Para el cálculo de dichas emisiones se han de conocer los kg de DBO₅ eliminado para así poder relacionarlo con la cantidad de biogás producido.

Por cada kg de DBO₅ eliminada se producen 0,25 kg de metano. Es decir, 0,42kg de biogás aproximadamente, siendo el 60% de biogás metano y el 40% de dióxido de carbono [10]. Con esta relación se obtienen las emisiones generadas en cada etapa.

Los datos recogidos en la Tabla 5 son valores medios anuales. En total se tomaron 11 muestras a lo largo del año 2018. En esta se muestran las cantidades de entrada y salida de la DBO₅ de las etapas que generan emisiones a la atmósfera. En el 6.2 Anexo II: Resumen analíticas EDAR Santa Lucía en el año 2018. se encuentra el resumen de las analíticas realizadas a lo largo del año 2018 en la EDAR de Santa Lucía.

Tabla 5. Rendimiento de eliminación y cantidades de DBO₅.

	DBO ₅ (mg/L)		
	Fosa séptica	Humedales verticales	Humedal horizontal
Entrada	761,48	426,59	203,01
Salida	426,59	203,01	70,84
Rendimiento eliminación estimado	44 %	52%	65%

A continuación se detallan las emisiones asociadas en a la fosa séptica, los humedales de flujo vertical y el humedal de flujo horizontal.

Fosa séptica

En primer lugar, se calculan los kg/año de DBO₅ eliminada como la diferencia de DBO₅ a la salida y a la entrada de la fosa séptica:

$$\begin{aligned} 334,89 \text{ mg/L} &= 0,33489 \text{ kg/m}^3 * 37 \text{ m}^3/\text{día} * 365 \text{ días/año} \\ &= 4.522,69 \text{ kg/año DBO}_5 \text{ eliminada} \end{aligned}$$

En segundo lugar, se obtienen los kg de biogás emitido mediante la relación entre los kg de biogás producido y los kilogramos de DBO₅ eliminado:

$$\begin{aligned} 4522,69 \text{ kg DBO}_5/\text{año DBO}_5 \text{ eliminada} * 0,42 \text{ kg biogás/kg DBO}_5 \\ = 1.899,53 \text{ kg biogás/año} \end{aligned}$$

Finalmente, sabiendo que la mezcla de biogás está compuesta por un 60% de metano y un 40% de CO₂, se obtiene:

$$\begin{aligned} 1899,53 \text{ kg biogás/año} * 60 \text{ kg CH}_4/100 \text{ kg biogás} &= 1139,72 \text{ kg CH}_4/\text{año} \\ &= 2,28 \text{ kg CH}_4/(\text{año} \cdot \text{h. e}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1899,53 \text{ kg biogás/año} * 40 \text{ kg CO}_2/100 \text{ kg biogás} &= 759,82 \text{ kg CO}_2/\text{año} \\ &= 1,52 \text{ kg CO}_2/(\text{año} \cdot \text{h. e}) \end{aligned}$$

Humedales de flujo vertical

Debido a que los humedales operan de forma alterna, las cantidades de DBO₅ que se muestran en la Tabla 3, se obtienen como el promedio de los parámetros de entrada y salida de ambos.

De igual manera que en el caso anterior, se obtiene que las emisiones generadas por los humedales verticales:

$$\begin{aligned} 1268,17 \text{ kg biogás/año} * 60 \text{ kg CH}_4/100 \text{ kg biogás} &= 760,9 \text{ kg CH}_4/\text{año} \\ &= 1,52 \text{ kg CH}_4/(\text{año} \cdot \text{h. e}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1268,17 \text{ kg biogás/año} * 40 \text{ kg CO}_2/100 \text{ kg biogás} &= 507,27 \text{ kg CO}_2/\text{año} \\ &= 1,01 \text{ kg CO}_2/(\text{año} \cdot \text{h. e}) \end{aligned}$$

Humedal de flujo horizontal

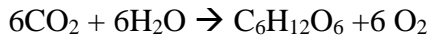
Las emisiones asociadas al humedal de flujo horizontal son:

$$\begin{aligned} 750,19 \text{ kg biogás/año} * 60 \text{ kg CH}_4/100 \text{ kg biogás} &= 450,12 \text{ kg CH}_4/\text{año} \\ &= 0,90 \text{ kg CH}_4/(\text{año} \cdot \text{h. e}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 750,19 \text{ kg biogás/año} * 40 \text{ kg CO}_2/100 \text{ kg biogás} &= 300,08 \text{ kg CO}_2/\text{año} \\ &= 0,6 \text{ kg CO}_2/(\text{año} \cdot \text{h. e}) \end{aligned}$$

En este caso, se han de calcular además, los kg de CO₂ absorbidos por la Typha. Para ello, se ha utilizado el método de razón molar para la determinación del Dióxido de Carbono capturado. Este consiste en establecer una relación molar entre las especies participantes en la ecuación de la fotosíntesis [11].

Ecuación 1: Ecuación de la fotosíntesis.



A continuación, se estima la cantidad de biomasa aportada por las macrófitas.

Ecuación 2: Ecuación para la estimación de la biomasa

$$\text{Biomasa}(g/m^2) = \frac{\text{Peso seco}(g)}{(1 + H\%/100)}$$

$$H\% = \frac{\text{Peso húmedo}(g) - \text{Peso seco}(g)}{\text{Peso húmedo}(g)} * 100$$

Utilizando dichas ecuaciones se obtiene:

$$\text{Biomasa}(g/m^2) = \frac{9.591}{1 + 0.8759} = 5.113g/m^2$$

$$H\% = \frac{77.290 - 9.591}{77.290} * 100 = 87,59\%$$

Finalmente, se establece una relación entre la biomasa (glucosa) y dióxido de carbono.

Ecuación 3: Relación biomasa y dióxido de carbono.

$$g \text{ de glucosa}/m^2 * \frac{1 \text{ mol de glucosa}}{180 \text{ gramos de glucosa}} * \frac{6 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol de glucosa}} * \frac{44 \text{ gramos de CO}_2}{1 \text{ mol de CO}_2}$$

Finalmente, se calculan los kg de CO₂/m²:

$$5.113g \text{ de glucosa}/m^2 * \frac{1 \text{ mol de glucosa}}{180 \text{ gramos de glucosa}} * \frac{6 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol de glucosa}} * \frac{44 \text{ gramos de CO}_2}{1 \text{ mol de CO}_2}$$

$$= 7,499kgCO_2/m^2$$

$$7,499kgCO_2/m^2 * 300m^2 = 2249,77kgCO_2 * (1/500h.e) = 4,49kgCO_2/h.e$$

Es decir, se absorben 4,49 kg de dióxido de carbono por habitante y año. Este aspecto, repercute positivamente al impacto generado sobre el cambio climático puesto que este CO₂ es almacenado en las plantas y no se emite a la atmósfera.

Generación de residuos y subproductos

Reja de desbaste

En esta etapa se realiza una limpieza al menos semanal de la reja, extrayendo así todos los restos que se depositan en la misma. Estos se dejan secar una semana y son gestionados como residuos sólidos urbanos municipales cuyo destino es el vertedero más cercano. Esta acción se realiza semanalmente y se estima que se obtiene una cantidad de 10 kg de desecho en cada retirada. En la Tabla 8 se observan los residuos acumulados en la reja de desbaste.



Figura 6. Residuos depositados en la reja de desbaste.

Fosa séptica

El mantenimiento requerido en la fosa séptica se basa en la extracción de fangos cada año. Estos fangos son enviados a una depuradora comarcal en donde serán tratados. La cantidad de fangos extraídos corresponde a 1/3 del volumen de la fosa séptica.

Humedales de flujo vertical

En estos humedales de uso alternativo, una vez que un humedal entra en reposo, se dejan deshidratar los fangos que se han acumulado en la superficie de la grava durante su período de funcionamiento. Una vez se han secado se realiza un rastrillado de superficie para su retirada y puesta a punto del sistema para el nuevo período de operación. Esta operación se realiza una vez al mes tomando en consideración los dos humedales en funcionamiento. De ahí se obtienen principalmente sólidos en forma de fangos primarios deshidratados y restos de hojas (Figura 7). Será considerado como desecho que se envían a vertedero. La cantidad de residuo obtenido mensualmente en los humedales verticales es de 15 kilogramos.

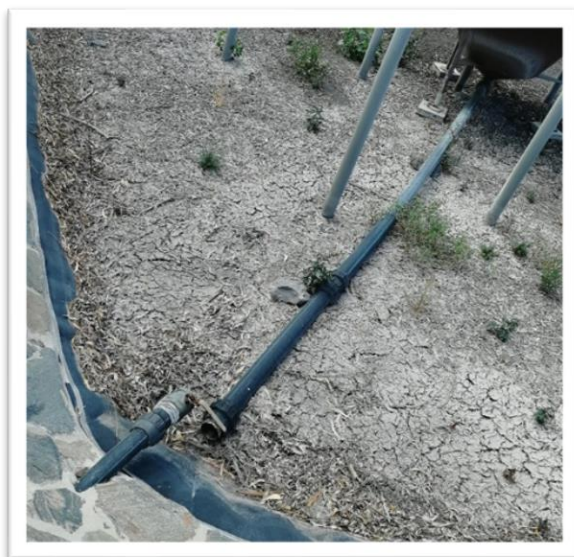


Figura 7. Residuos acumulados sobre el humedal vertical.

Humedal de flujo horizontal

Se realiza un corte semestral de macrófitas (*Typha latifolia ssp*). En la Figura 8 se observa la *Typha* en su máximo crecimiento. Esta biomasa vegetal puede tener varios destinos: cama para el ganado, materia prima para artesanía local, acolchado o *mulching* de suelos en fincas colindantes o incluso sufrir proceso de compostaje o elaboración de *biochar*². Por estas consideraciones, la biomasa vegetal retirada no se ha de considerar como un desecho sino como un subproducto valorizable. Se estima que la cantidad que se poda es de 5kg/m² por lo que mediante este dato y las dimensiones del humedal se puede obtener la cantidad total de biomasa vegetal anualmente.

² Biochar: Nombre que recibe la biomasa de origen vegetal procesada por pirólisis cuando es utilizado para el suelo.



Figura 8. Crecimiento de la Typha.

Todos los cálculos realizados se encuentran detallados en el 6.1 Anexo I: Análisis de inventario junto con el material o proceso seleccionado en el programa SimaPro. Así mismo, en la Tabla 6 se recogen las cantidades generadas en cada proceso previamente descrito.

Tabla 6. Cantidades de residuos/subproductos generados.

	Reja de desbaste	Fosa Séptica	Humedal Vertical	Humedal horizontal
Kg/h. e. (año)	1,04	31,16	0,36	6,62

Transporte de los residuos y subproductos generados

Los residuos generados en la reja de desbaste y en el humedal vertical son gestionados como Residuos Sólidos Urbanos (RSU), enviándose finalmente a complejo ambiental. Sin embargo, los lodos obtenidos del tratamiento primario se llevan a la depuradora comarcal para ser tratados allí.

El complejo ambiental al cual se transportan los desechos se encuentra en Juan Grande, a una distancia de 25,3 kilómetros de la depuradora. Para dicho transporte se utiliza un camión de recogida de desechos.

La depuradora que recibe los lodos procedentes del tratamiento primario se encuentra a 22,4 kilómetros de la depuradora, siendo esta la EDAR del Sureste de Gran Canaria. Los lodos se transportan mediante camiones de vaciado, que permitan aspirar los lodos de la depuradora.

Finalmente, la biomasa vegetal generadas en el humedal de flujo horizontal se acumula en la propia depuradora, tal y como se observa en la Figura 9, facilitando así que los usuarios de este subproducto puedan acceder a él con facilidad. Por tanto, en este último caso, no se considera el transporte puesto que este subproducto se utilizará en las inmediaciones de la depuradora.



Figura 9. Acumulación de la Typha en las inmediaciones.

3.2.2. Ajuste de los límites del sistema

Al realizar los primeros análisis se ha observado que hay ciertos materiales que se habían considerado en un principio pero que no tienen grandes relevancias ambientales comparadas con el resto de los materiales por lo que se ha decidido omitir estos datos del análisis final.

3.3. *Evaluación de impacto del ciclo de vida e interpretación*

En este capítulo se muestra la evaluación de impacto del Ciclo de vida. Para ello, es aconsejable utilizar una herramienta de software que permita ahorrar tiempo y lograr resultados fiables. La función básica de estos programas es realizar los balances de materia y energía sobre el proceso específico y asignar las emisiones, usos de energía, etc., normalizados sobre una base común.

En el estudio se utiliza la herramienta **SimaPro versión 9.1.1**. Este programa es una herramienta informática de apoyo al cálculo y caracterización de emisiones de sistemas en una perspectiva de ACV [10]. Esta herramienta consta de diversas bases de datos y métodos de caracterización de emisiones.

Para este ACV se utiliza la base de datos **Ecoinvent versión 3.7.1** ya que cuenta con más de 4000 procesos pertenecientes a diferentes sectores.

La metodología utilizada en el estudio es **ILCD 2011** puesto que será la metodología de referencia para las Huellas ambientales de la Unión Europea, siendo las categorías de impacto las que se muestran a continuación [12]:

- Cambio climático.

- Agotamiento de la capa de ozono.
- Ecotoxicidad para ecosistemas de agua dulce.
- Toxicidad humana (efectos cancerígenos).
- Partículas inorgánicas con efectos respiratorios.
- Radiaciones ionizantes, efectos sobre la salud humana.
- Formación fotoquímica de ozono.
- Acidificación.
- Eutrofización terrestre.
- Eutrofización acuática.
- Ecotoxicidad de agua dulce.
- Agotamiento de los recursos (agua, minerales, fósiles).
- Transformación de la tierra.

Definida la metodología utilizada en el estudio y realizado el inventario del ciclo de vida en donde se plasman las entradas y salidas que se tienen en cuenta en cada una de las fases que componen el ACV, se procede a realizar la evaluación de impactos.

3.3.1. Evaluación e interpretación de los impactos de la fase constructiva

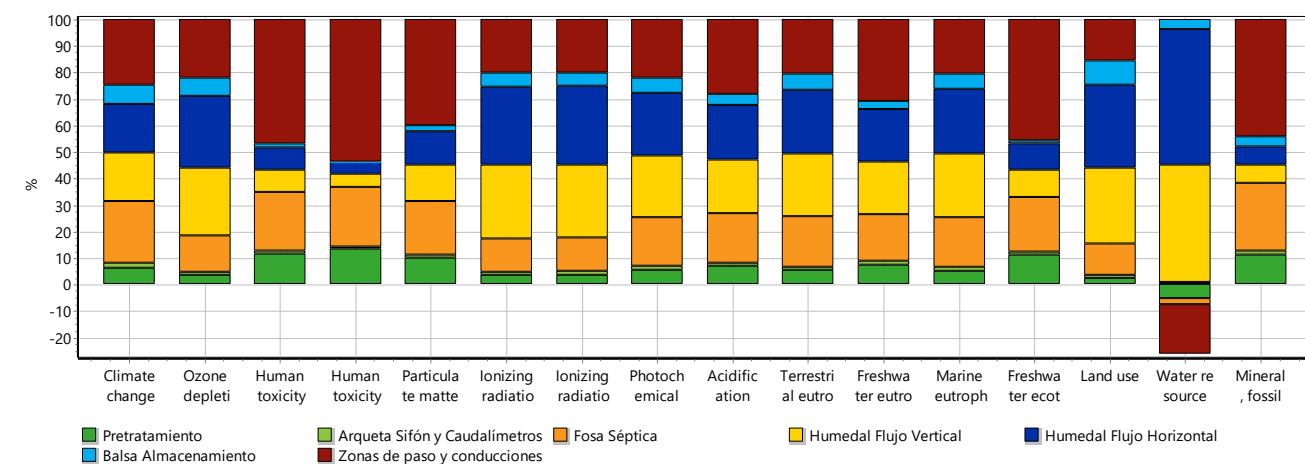


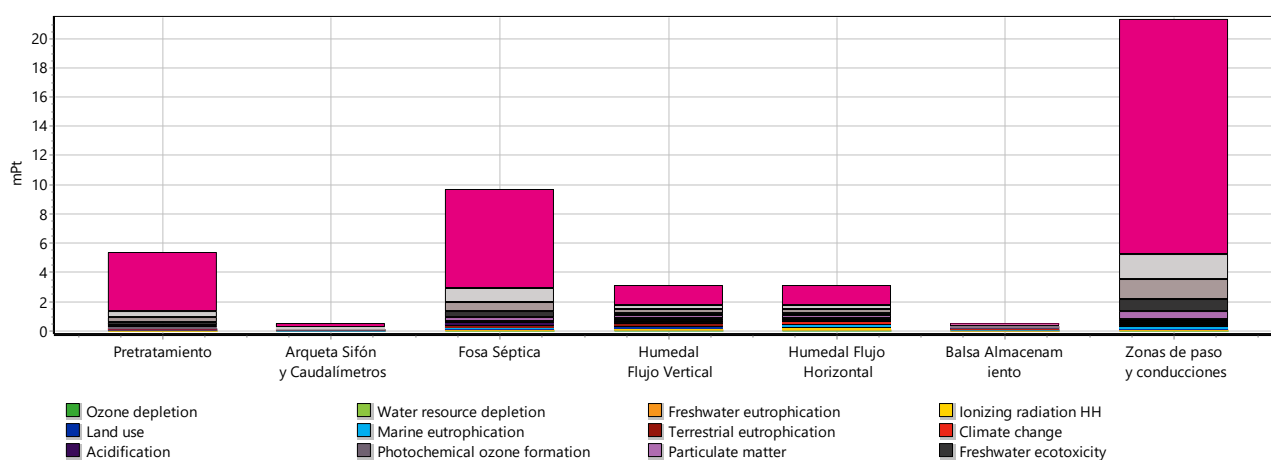
Figura 10. Evaluación de impactos de la fase de construcción (caracterización)

Según los resultados obtenidos en la evaluación de impactos de la fase constructiva (Figura 10), se observa como la zona de paso y conducciones genera, en principio, mayores efectos al medioambiente. Aun así, cabe destacar, que se produce un efecto

positivo en el agotamiento de recursos hídricos en la construcción de esta etapa. Este aspecto puede ser debido a que se obtiene agua como subproducto en su construcción.

La segunda etapa que genera más impacto (Figura 11) es la construcción de la fosa séptica. Tanto en las zonas de paso y conducciones como en la fosa séptica se utilizan grandes cantidades de acero y de hormigón, contribuyendo así de manera significativa a la generación de un impacto mayor.

Las etapas que generan un impacto menor son la construcción de la arqueta de sifón y caudalímetros y la construcción del pretratamiento, tal y como era de esperar, puesto que en estas etapas se consume muy pocos recursos y materiales.



Analizando 1 p 'Fase de Construcción'; Método: ILCD 2011 Midpoint+ V1.11 / EU27 2010, equal weighting / Puntuación única / Excluyendo procesos de infraestructura / Excluyendo emisiones a largo plazo

Figura 11. Evaluación de impactos de la fase de construcción (puntuación única)

Al realizar una comparativa de las categorías de impacto más significativas, se observa (Figura 12) que la categoría “human toxicity, cancer effects” es la más elevada. La causa de este elevado impacto viene asociado al uso de grandes cantidades de acero y hormigón para la construcción de la planta y, además, a que se tienen en cuenta la fabricación de estos componentes en origen, pudiendo así incrementar el impacto generado. En este caso, cabe destacar, el valor tan bajo, comparado con otros impactos, obtenido en la categoría “land use”. Era de esperar que este impacto fuera bastante elevado debido a las grandes ocupaciones del terreno, pero sin embargo, se ha observado que hay impactos que generan mayores efectos sobre el medioambiente como el anteriormente nombrado, el agotamiento de recursos minerales, la toxicidad en el agua... Este aspecto, no significa que el impacto ambiental asociado a la categoría “land use” sea

bajo, sino que, al compararlo con el resto de los impactos este es mucho menor que los demás.

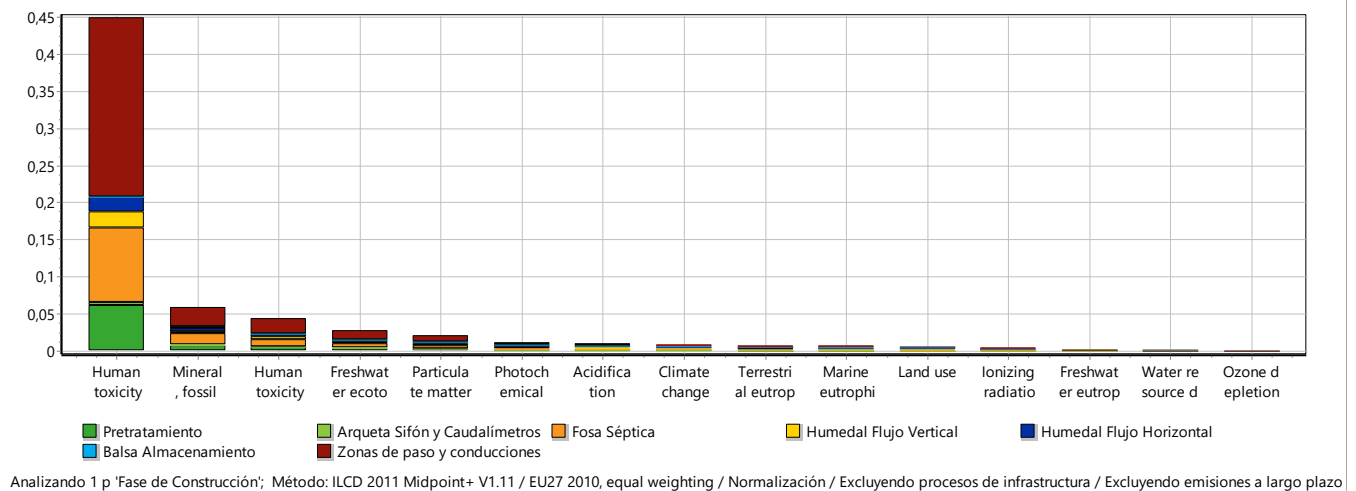


Figura 12. Evaluación de impactos por etapa.

En esta fase de construcción sería muy favorable al medioambiente cambiar el acero y el hormigón por materiales reciclados o utilizar materiales que generan impactos menores. Por ejemplo, se podría considerar el uso de madera reciclada para el vallado de la parcela, evitando así el uso de acero en esta parte. Así mismo, se podría cambiar el uso de hormigón por materiales más sostenibles como el cemento natural, hormigones sostenibles... Además, se ha de considerar un nuevo diseño en el que los productos además de locales sean cercanos y en la fase de fabricación de los mismos se consideren los impactos ambientales que en estos procesos se generan.

3.3.2. Evaluación e interpretación de los impactos de la fase de explotación y mantenimiento

Según los resultados de evaluación de impacto en la fase de operación y mantenimiento (Figura 13) se observa como la fosa séptica es la fase que más impacto genera, seguida del humedal de flujo vertical, del humedal de flujo horizontal y finalmente de la reja de desbaste. Este hecho era predecible puesto que las tareas de mantenimiento que se llevan a cabo en la fosa séptica generan no solo grandes cantidades de residuo, comparado con el resto de las etapas, sino que además se han de tratar esos residuos en una depuradora, produciendo así un incremento del impacto generado. Además, en esta primera etapa, se tienen rendimientos de eliminación de DBO₅ elevados por lo que provoca que la cantidad de emisiones generadas sea mayor que en el resto de las etapas.

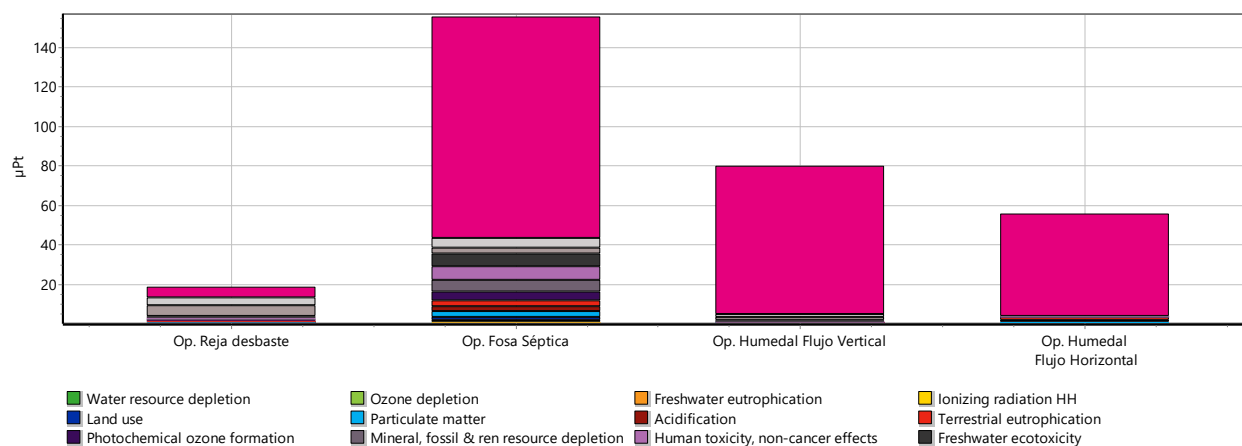


Figura 13. Evaluación de impactos de la fase de operación y mantenimiento (Puntuación única)

Si se comparan los resultados obtenidos del humedal de flujo vertical con el humedal de flujo horizontal, se observa que el impacto generado por el humedal de flujo horizontal es menor que el impacto generado por el humedal de flujo vertical. Sin embargo, los rendimientos de eliminación de materia orgánica son bastante similares en ambos humedales por lo que se deberían obtener cantidades de dióxido de carbono y metano emitido semejantes, provocando así un impacto parecido. Esto se debe a que en el primero de estos humedales se absorbe parte del dióxido de carbono emitido gracias a la presencia de la Typha, disminuyendo así el impacto generado.

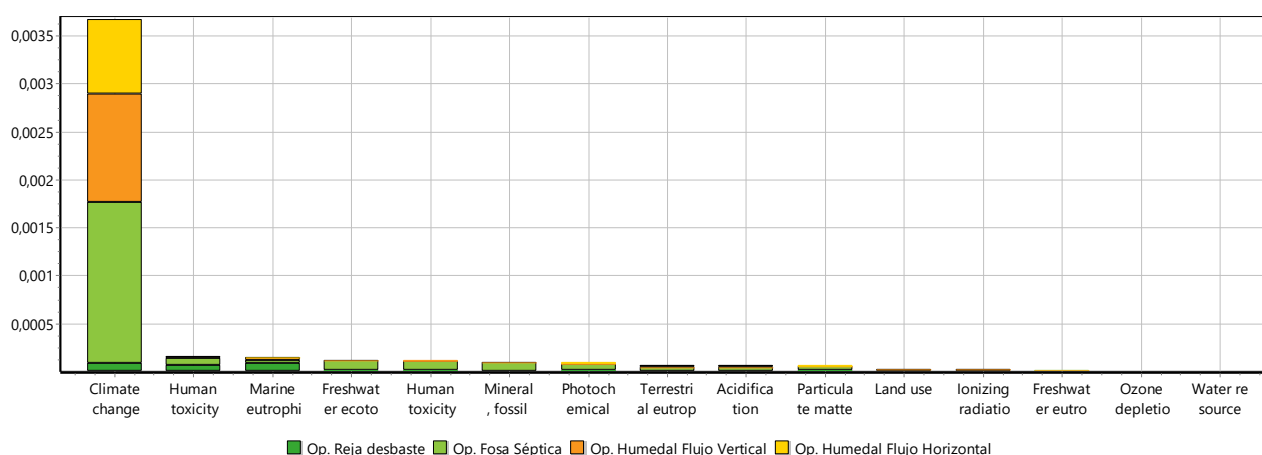


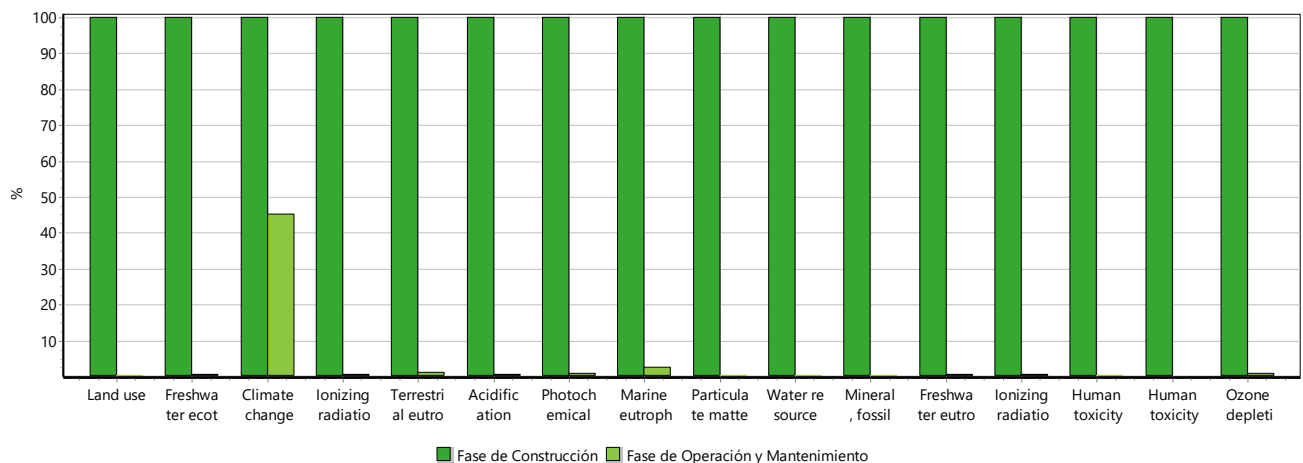
Figura 14. Evaluación de impactos de la fase de operación y mantenimiento (Normalización)

Finalmente, en la Figura 14, se puede ver como la categoría de impacto “climate change” es la más elevada, superando de forma significativa al resto de las categorías. La mayor contribución a la generación de este impacto viene asociada a la operación de la fosa séptica, con un total de 15,5 kg CO₂ equivalente. En total en la fase operación y mantenimiento de la planta se han generado 33,8 kg CO₂ equivalente, por lo que la cantidad generada por la fosa séptica supone aproximadamente un 50% del total. El humedal de flujo vertical produce una cantidad de 10,4 kg CO₂ equivalente, y el humedal de flujo horizontal 7,19 kg CO₂ equivalente.

En este caso, se podría contribuir a una disminución de los impactos ambientales generados dándole una segunda vida a todos los residuos y/o subproductos que se obtienen. Por ejemplo, la Typha podría ser reutilizada como fibra vegetal para artesanía o para la producción de biochar, pudiendo así ser reciclada. Los fangos mineralizados obtenidos en la fosa séptica en vez de ser enviados a la depuradora para ser tratados podrían aplicarse en el suelo previo tratamiento. Esto contribuiría positivamente a la fertilización del suelo y reciclaje de los nutrientes y la materia orgánica presente en estos. Otra de las alternativas, sería crear una forma de captación del biogás para reutilizarlo como combustible. Estas alternativas podrían generar impactos positivos, disminuyendo así el impacto generado en la planta.

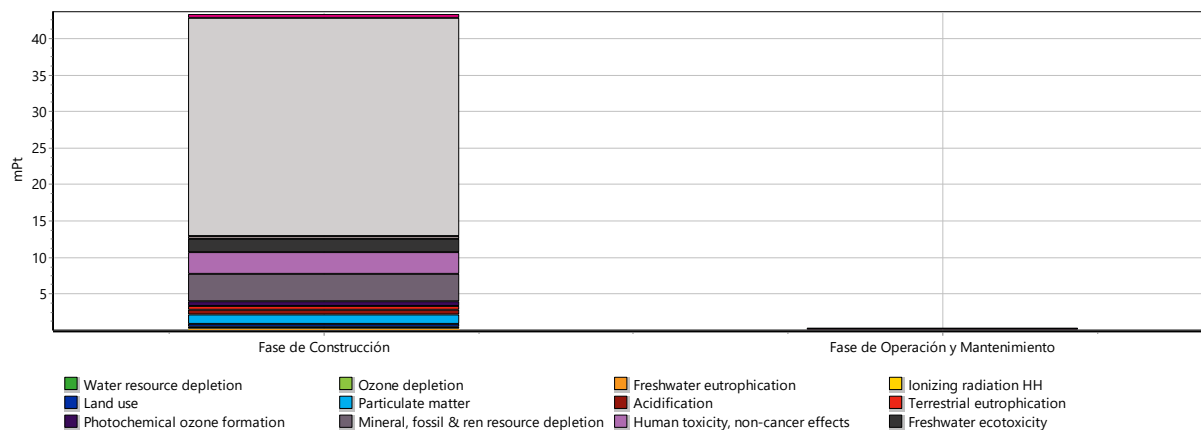
3.3.3. Comparativa de los impactos generados en la fase constructiva y de mantenimiento

En este capítulo se comparan los impactos generados en la fase constructiva con los impactos generados en la fase de operación y mantenimiento. En la Figura 15 se observa como en todas las categorías de impacto, la fase de construcción genera un impacto mayor que la fase de operación. Es decir, ni aun con 10 años de operación de la planta los impactos que esta produce en su fase de operación son asimilables con los impactos que se generan en la fase constructiva. Al tratarse de un sistema de depuración biológico en el cual el aporte energético es nulo, la fase de explotación se ve afectada solamente por las emisiones generadas en las diferentes etapas y los residuos y/o subproductos obtenidos en cada una de estas. Sin embargo, en la fase de construcción de la misma, se utilizan muchas más cantidades de materiales, se necesita un mayor transporte de los materiales...



Comparando 1 p 'Fase de Construcción' con 1 p 'Fase de Operación y Mantenimiento'; Método: ILCD 2011 Midpoint+ V1.11 / EU27 2010, equal weighting / Caracterización / Excluyendo procesos de infr

Figura 15. Evaluación de impactos de ambas fases (caracterización).



Comparando 1 p 'Fase de Construcción' con 1 p 'Fase de Operación y Mantenimiento'; Método: ILCD 2011 Midpoint+ V1.11 / EU27 2010, equal weighting / Puntuación única / Excluyendo procesos de infr

Figura 16. Evaluación de impactos de ambas fases (puntuación única).

En la Figura 16 se obtiene una perspectiva diferente en donde nuevamente se puede ver como la fase de explotación y mantenimiento genera mucho menor impacto que la fase constructiva.

Tal y como se observa en la evaluación de impactos, los resultados indican que la etapa con mayores efectos sobre el medioambiente es la fase constructiva. En esta etapa se consideran tanto los materiales como su transporte y el combustible necesario para el acondicionamiento de la EDAR. Al realizar un análisis general del Ciclo de Vida se tienen que la cantidad de emisión de los gases de efecto invernadero es 108,5 kg de CO₂ equivalente. De esta parte 74,7 kg de CO₂ corresponden a la fase de construcción, es decir, un 69% de las emisiones totales corresponden a esta fase.

4. CONCLUSIONES

El estudio de análisis de ciclo de vida de la Estación de Depuración de Aguas Residuales en la isla de Gran Canaria se resume en la parte de evaluación e interpretación de los impactos ambientales. Las principales conclusiones extraídas del presente trabajo son:

- El sistema de estudio se enmarca en un sistema de depuración biológica ubicada en la isla de Gran Canaria. La EDAR está compuesta por un pretratamiento, una fosa séptica y un antiguo tanque imhoff, dos humedales de flujo vertical, un humedal de flujo horizontal y una balsa de almacenamiento. Para el estudio se utiliza una unidad funcional de 1 habitante equivalente ya que esta unidad considera tanto la carga orgánica como el caudal de entrada a la planta. Así mismo, las etapas incluidas en el estudio fueron la fase constructiva de la planta y la fase de operación y mantenimiento. Dentro de esta última se consideran los impactos asociados a la generación de residuos.
- Como se observa en el análisis de inventario realizado, el acero y el hormigón son los materiales con mayor peso. Ambos materiales son necesarios en la construcción de las instalaciones que configuran la EDAR. En la fase de operación y mantenimiento, se ve como la mayor parte de las emisiones vienen asociadas al funcionamiento de la fosa séptica debido a los rendimientos de eliminación de materia orgánica que esta presenta. Así mismo, en este mismo proceso, se obtienen las mayores cantidades de residuos generados, como consecuencia del vaciado de la fosa cada 6 meses.
- En la etapa constructiva los materiales que más contribuyen a la generación de impacto es el acero y el hormigón utilizado. En el impacto de este tipo de acero y hormigón, escogido de la base de datos del programa informático, se observa cómo se contabilizan los impactos de la producción de estos materiales en las fábricas en origen, es por ello por lo que repercuten tan negativamente en este análisis. Así mismo, cabe destacar que la categoría de impacto “human toxicity cancer effect” es la más elevada. Esto se debe al uso de acero y hormigón. Sin embargo, se observa como la categoría de impacto “land use” comparada con la anteriormente nombrada, está muy por debajo.
- La fase de operación y mantenimiento presenta un menor impacto ambiental que la fase constructiva, pese a que en esta primera fase se hayan tenido en cuenta las emisiones y residuos generados en 10 años. Esto se debe a que el consumo de materiales es menor y además, a que es una planta que opera bajo nulo coste energético. La categoría “climate change” es la más elevada en este caso, superando de forma significativa al resto de las categorías. En total en la fase operación y mantenimiento de la planta se han generado 33,8 kg CO₂ equivalente, en donde el 50% de esta cantidad se asocia a la fosa séptica y el restante a los humedales.
- Al comparar los impactos generados en ambas fases, se observa como la fase constructiva genera un mayor impacto que la fase de operación y

mantenimiento. Esto se debe a que el sistema de estudio trabaja sin coste energético, siendo esta la clave del sistema, por lo que la fase de explotación se ve afectada solamente por las emisiones generadas y los residuos y/o subproductos obtenidos durante el proceso de depuración y degradación de materia orgánica, mientras que, en la fase constructiva se utilizan grandes cantidades de diferentes materiales que provocan una generación de impacto mayor. La categoría de impacto más elevada en ambos casos es “climate change”, en ella se obtiene una producción de 108,5 kg de CO₂ equivalente. De esta parte 74,7 kg de CO₂ corresponden a la fase de construcción, es decir, un 69% de las emisiones totales corresponden a esta fase, por lo que una vez más se puede ver como esta primera fase contribuye en mayor medida a la generación de impacto.

- Si se realiza una comparativa de los impactos generados en la estación de depuración biológica de Santa Lucía de Tirajana ubicada en la Isla de Gran Canaria, compuesta por las etapas previamente descritas, con otras estaciones de depuración que operan de forma similar, se observa como los datos obtenidos en este caso, son similares a los conseguidos en los demás estudios [13]. En conclusión, el impacto global de la instalación no es excesivamente elevado si se comparan con estaciones de depuración que presentan etapas con altos costes energéticos como lodos activos, MBR... Aun así cabe destacar que el impacto de esta instalación sería menor si no se utilizaran en el programa, materiales de la base de datos que tienen en cuenta la parte de fabricación de los mismos.
- Las posibles mejoras que se podrían plantear para reducir el impacto generado son: Emplear estrategias de sustitución de ciertos materiales por otros menos perjudiciales, por ejemplo, el acero empleado para el vallado, sustituirlo por vallas de madera. Así mismo, se podrían reutilizar los residuos y subproductos obtenidos en la fase de operación y mantenimiento o bien, captar el biogás para su aprovechamiento. Actualmente, el proyecto VERCOCHAR, cofinanciado por el Programa de Cooperación Interreg MAC 2014-2020, se propone incorporar a suelos agrícolas y forestales residuos orgánicos transformados mediante metodologías biológicas y físicas para mejorar sus propiedades físico-químicas y biológicas, siendo uno de los residuos de estudio utilizados la *Typha* proveniente de la EDAR de Santa Lucía de Tirajana [14].

El Instituto Tecnológico de Canarias continuará investigando sobre como contribuir a la mitigación del cambio climático a través de la innovación del ciclo integral del agua mediante la evaluación ambiental de un sistema de depuración y regeneración abordando el Análisis de Ciclo de Vida. En este caso, de otras instalaciones con configuraciones diferentes, que facilite la comparación entre ellas.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES, UNIÓN EUROPEA Y COOPERACIÓN.

<http://www.exteriores.gob.es/portal/es/politicaexteriorcooperacion/nacionesunidas/paginas/objetivosdesarrollodelmilenio.aspx> (Consulta:28/05/2021)

[2] Norma UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.

[3] Esperanza Haya Leiva, 2016. Análisis de Ciclo de Vida. Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental. Escuela de organización industrial.

[4]Zero Consulting

<https://blog.zeroconsulting.com/an%C3%A1lisis-ciclo-vida> (Consulta: 06/04/2021)

[5] Arroyo Martínez, Enrique, 2018. Trabajo fin de grado. *“Análisis de ciclo de vida enfocado a la construcción de una vivienda unifamiliar compuesta por tableros de madera contra laminada”*

[6] Norma UNE-EN ISO 14041:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Objetivos y alcance.

[7] Norma UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices.

[8]Martín et all, 2006. *“Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleosde población”*

[9] Proyecto Comarcas Sostenibles, Adaptares.

<https://adaptares.com/es/> (Consulta: 26/04/2021)

[10] Ingeniería de las aguas residuales. Metcalf &Eddy. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización.

[11] Caicedo Villate, Silvia María, 2015. Trabajo Fin de Grado. Determinación de la cantidad de CO2 capturado y O2 producido por los diferentes biotopos en el humedal Santa María del Lago. Universidad Santo Tomás.

[12] ILCD Handbook. Analysis of existing environmental Impact Assesment methodologies for use in Life Cycle Assessment. 2010. Institute for environment and sustainability.

[13] Garfí M, Flores L, Ferrer I, Life Cycle Assessment of wastewater treatment systems for small communities: Activated sludge, constructed wetlands and high rate algal ponds,*Journal of Cleaner Production* (2017)

[14] Proyecto VERCOCHAR.
<https://www.itccanarias.org/web/es/actividad/proyectos/vercochar>
(Consulta:14/06/2021)

6. RELACIÓN DE ANEXOS

6.1. Anexo I: Análisis de inventario

En este Anexo, se detallan los cálculos y las consideraciones realizadas para obtener las cantidades de material necesario para la construcción de cada etapa que compone la planta. Además, se incluye el desglose de las cantidades a transportar y el tipo de transporte que se utiliza y las emisiones y subproductos/residuos generados en la estación. Cabe destacar, que la unidad funcional escogida es 1 habitante equivalente (h.e) y que la planta fue construida para una dotación de 500 h.e por lo que en los cálculos realizados se ha de conocer la cantidad de cada material, emisión o residuo por habitante equivalente.

6.1.1. Obra de llegada y rejas de desbaste

En este capítulo se muestran los pasos seguidos en el proceso de fabricación de las arquetas de llegada y de la arqueta de la reja de desbaste. Se considera que ambas arquetas están construidas a base de hormigón de dureza media, asimilable al hormigón de limpieza. No se consideran elementos como el enfoscado del interior de la arqueta o la compactación de terreno, ni la retirada del material sobrante. Para las rejas de desbaste, se considera que están fabricadas con acero de baja aleación ya que este acero es el más utilizado para la fabricación de aceros inoxidables como en este caso. Las compuertas de las arquetas son del mismo material que las rejas. Tampoco se tienen en cuenta los procesos de fabricación de la reja, simplemente, se toman las cantidades necesarias de acero para dicha fabricación. La excavación del terreno se contempla como la suma de la cantidad de terreno a excavar tanto de la arqueta de desbaste y la arqueta de llegada.

6.1.1.1. Desbaste

En primer lugar, se obtiene la cantidad de hormigón necesario para la construcción de la arqueta que contiene las rejas de desbaste. Para ello, es necesario conocer las dimensiones de la misma, siendo estas: 2,5 metros de ancho, 1,15 metros de largo y 0,7 metros de alto. Se considera que el grosor del hormigón es de 0,05.

$$m^3 \text{hormigón} = (2,5 * 1,15 * 0,05 + 2,5 * 0,7 * 0,05 * 2 + 1,15 * 0,7 * 0,05 * 2) / 500 (h.e) = 7,99 \times 10^{-4} m^3 / h.e$$

En segundo lugar, se consigue la cantidad de acero necesario para la construcción de la reja de desbaste. Las dimensiones de la reja coinciden con las de la arqueta, tiene 2,5 metros de ancho y 0,7 metros de alto. Teniendo en cuenta que la luz de paso de las rejas es de 0,02 metros y que el ancho de cada barrote es de 0,02 metros también, se obtiene que la cantidad de acero necesario para la construcción de la reja es:

$$kg \text{ acero reja} = (1,25 * 0,7 * 0,02)(m^3) * 7850 (kg/m^3) / 500(h.e) = 0,27 kg / h.e$$

Finalmente, la cantidad necesaria de acero inoxidable para la construcción de la placa de cierre del desbaste viene determinada por las dimensiones de la misma, 2,5 metros de ancho, 1,15 metros de largo y un grosor de 0,02 metros.

$$\begin{aligned} kg \text{ aceroplaca} &= (2.5 * 1.15 * 0.02)(m^3) * 7850(kg/m^3)/500(h.e) \\ &= 0.91kg/h.e \end{aligned}$$

6.1.1.2. Arqueta llegada

Se obtiene la cantidad de hormigón necesario del mismo modo que en la arqueta de desbaste, siendo las dimensiones de la arqueta de llegada: 0,7 metros de largo, 0,4 metros de ancho y 0,7 metros de alto. Considerando un grosor de hormigón de 0,05 metros

$$\begin{aligned} m^3 \text{ hormigón} &= (0,7 * 0,4 * 0,05 + 0,7 * 0,7 * 0,05 * 2 + 0,4 * 0,7 * 0,05 * 2) \\ &/500 (h.e) = 1,82 \times 10^{-4} m^3/h.e \end{aligned}$$

El acero utilizado en la placa cierre arqueta se calcula de la misma manera que la placa de cierre de la arqueta de desbaste. Las dimensiones de esta arqueta son de 0,7 metros de largo, 0,4 metros de ancho y un grosor de 0,02 metros.

$$\begin{aligned} kg \text{ aceroplaca} &= (0,7 * 0,4 * 0,02)(m^3) * 7850(kg/m^3)/500(h.e) \\ &= 0,088kg/h.e \end{aligned}$$

6.1.1.3. Excavación

Para obtener el impacto asociado al proceso de excavación se considera que todo el impacto vendrá determinado por el uso de combustible de la retrocargadora que efectúa la excavación. Para ello, se determina la superficie total de excavación como la suma del terreno ocupado por el desbaste y por la arqueta de llegada, siendo estas dimensiones las siguientes:

Desbastador: 2,01 m³

Arqueta: 0,20 m³

Total: 2,21 m³

Sabiendo que el rendimiento del retrocargador es 0.12 h/m³, se pueden calcular la cantidad de horas necesarias para excavar dicho terreno. Además, se conoce que la potencia de la misma es 70 kW por lo que si multiplicamos el tiempo necesario por la potencia obtenemos los kWh necesarios. Se considera que el rendimiento de la retrocargadora es de un 90%.

Como el combustible utilizado por dicha maquinaria es gasóleo, mediante el PCI del mismo, se obtiene la cantidad de litros por habitante equivalente utilizado.

$$\begin{aligned} &2,90(m^3) \times 0,12(h/m^3) * 1/0,9(\text{rendimiento}) * 70(kW) \\ &= 53,29(kWh) * 1/10,28(l/kWh) = 5,18l/500h.e = \mathbf{0,01 l/he} \end{aligned}$$

6.1.1.4. Ocupación del terreno

Uno de los aspectos más importantes de este tipo de sistema de depuración es la cantidad de terreno que ocupa, por ello, se considera necesario cuantificar que cantidad de terreno que ocupará cada uno de los procesos que compone la EDAR. En el caso de la obra de llegada y la reja de desbaste, la ocupación del terreno vendrá determinada por la arqueta de llegada y por la arqueta de desbaste, siendo la superficie total ocupada la siguiente:

$$\text{Superficie ocupada} = 0.014m^2/h.e$$

6.1.2. Fosa séptica

Las consideraciones realizadas en el proceso de fabricación de la fosa séptica son las siguientes: Para el suelo de la fosa se colocará una solera de hormigón con mallazo. Para los laterales se utilizarán bloques rellenos de hormigón así como para el tabique interior de la fosa. Esto se recubre con pintura impermeabilizante asfáltica. No se considera la retirada de material sobrante así como los rellenos con material de excavación. El hormigón utilizado será el mismo que en la etapa anterior. El mallazo será de acero sin alear puesto que es el que se utiliza en construcción para hacer las barras de acero de refuerzo. Finalmente se expone, de la misma forma que en el caso del desbastador la excavación del terreno para dicha fosa. Una de las consideraciones más importantes es que el volumen de la fosa séptica será el volumen de la misma más el volumen que ocupa el tanque Imhoff en la depuradora de Santa Lucía. Este último fue diseñado para una capacidad de 100 habitantes equivalentes, por lo que al abastecer a más personas, los tiempos de residencia del mismo son muy pequeños provocando así que los parámetros de salida y de entrada sean prácticamente idénticos.

La forma de cálculo de la cantidad de hormigón es la misma que en las etapas anteriores. En este caso, cabe destacar que las dimensiones vendrán determinadas por las dimensiones de la fosa y del tanque imhoff, siendo estas: 8 metros de ancho, 3,5 de largo y 2,5 metros de alto y 5,19 metros de ancho, 1,75 de largo y 1,7 metros de alto respectivamente. El espesor del hormigón utilizado en este caso es de 0,04 metros.

$$m^3\text{hormigón} = (8 * 3,5 * 0,04 + 5,19 * 1,75 * 0,04)/500(h.e) = 0,003m^3/h.e$$

Para el cálculo de acero sin alear necesario para la construcción del mallazo se tiene que este mallazo es de 8mm de espesor. Las dimensiones totales a recubrir con mallazo son: 13,19 m (ancho) * 5,25m(largo) y el espesor de 8 mm.

$$\text{Masatotalacero: } m = 7850(\text{kg/m}^3) * 0,1063(\text{m}^3) = 834,24\text{kg}/500\text{he} \\ = 1,67(\text{kg/h.e})$$

La pintura impermeabilizante utilizada en este caso es pintura asfáltica, debido a que esta pintura en concreto no se encuentra en las bases de datos del programa informático utilizado, se recurre al uso de un barniz acrílico sin agua el cual también es utilizado como impermeabilizante. En este caso, se han de calcular los kilogramos de barniz utilizados, para ello, conocidas las dimensiones de la fosa y el tanque imhoff y el espesor de una pintura de estas características, se obtiene:

$$\text{Kg (barniz)} = ((8 * 2,5 * 2 * 6 \times 10^{-5}) + (3,5 * 2,5 * 2 * 6 \times 10^{-5})) \\ * 1040 (\text{kg/m}^3)/500 (\text{h.e}) = 0,007176 (\text{kg/h.e})$$

** *Espesor de una pintura: 6 micras*

6.1.2.1. *Excavación*

Del mismo modo que antes, se obtiene el terreno total a excavar como la suma de las dimensiones de la fosa y el tanque imhoff:

Total: 85 m³

$$85(\text{m}^3) \times 0,12(\text{h/m}^3) * 1/0,9(\text{rendimiento}) * 70(\text{kW}) \\ = 53,29(\text{kWh}) * 1/10,28(\text{l/kWh}) = 5,18\text{l}/500\text{h.e} = \mathbf{0,15 \text{ l/he}}$$

6.1.2.2. *Ocupación del terreno*

En el caso de la fosa séptica, la ocupación del terreno vendrá determinada por las dimensiones de la misma más la suma de las dimensiones del tanque Imhoff, siendo la superficie total ocupada la siguiente:

$$\text{Superficie ocupada} = 0,16 \text{ m}^2/\text{h.e}$$

6.1.3. *Arqueta sifón y caudalímetro*

El proceso de fabricación de las arquetas de sifón y la arqueta de los caudalímetros es igual al de Obra de llegada y rejillas de desbaste. Así mismo, se tienen 3 caudalímetros que se consideran fabricados a partir de acero inoxidable en su totalidad, suponemos que el resto de los materiales contribuyen en muy poca medida a la generación de impacto ambiental. Se tienen en cuenta los metros de tubería necesarias para el sifón.

6.1.3.1. *Arqueta sifón*

Las dimensiones de la misma son 3 metros de ancho, 2 metros de largo y 1 metro de alto. El cálculo del hormigón considerando un espesor de 0,05 metros es:

$$m^3 \text{ hormigón} = (3 * 2 * 0,05 + 3 * 1 * 2 * 0,05 + 2 * 1 * 2 * 0,05) / 500 (h.e) \\ = 1,6 \times 10^{-3} m^3 / h.e$$

6.1.3.2. *Arqueta caudalímetro*

Las dimensiones de esta arqueta son: 2 metros de ancho, 2 metros de largo y 1 metro de alto. Considerando un espesor de 0,05 metros de hormigón, se obtiene:

$$m^3 \text{ hormigón} = (2 * 2 * 0,05 + 2 * 1 * 2 * 0,05 + 2 * 1 * 2 * 0,05) / 500 (h.e) \\ = 1,2 \times 10^{-3} m^3 / h.e$$

Los caudalímetros son de tipo electromagnético, de la marca SIEMENS, modelo MAG 8000 y con sección de paso DN50. El peso de cada uno de los caudalímetros es de 11 Kg. Suponemos que están hechos en su totalidad de acero inoxidable.

Se tienen tres caudalímetros dispuestos en paralelo, por lo que el peso de cada uno de ellos por habitante equivalente sería:

$$1 \text{ caudalímetros} = 11 \text{ kg de acero inoxidable;} \\ 3 \text{ caudalímetros} = 33 \text{ kg de acero inoxidable} \\ = 0,066 \text{ kg/h.e de acero inoxidable.}$$

A continuación, se obtiene la cantidad de kilogramos de tubería de Polietileno necesario. Se necesitan 8 metros para la arqueta de descarga (sifón) y 6 metros de tubería para la arqueta de control de caudal, sumando un total de 14 metros. Material polietileno, diámetro de la tubería 160 mm. Espesor de 3,9 mm.

$$Kg \text{ PE} = 0,01225 \text{ m}^2 * 14 \text{ m} * 790 \text{ kg/m}^3 = 135,485 \text{ kg} / 500 \text{ h.e} = 0,271 \text{ kg/h.e}$$

6.1.3.3. *Excavación*

Se excavan para la arqueta de los caudalímetros y la de sifón de descarga y las tuberías. Por lo que teniendo en cuenta las dimensiones de cada uno de ellos se estima que se necesitará excavar:

Total: 24 m³

$$24(m^3) \times 0,12(h/m^3) * 1/0,9(\text{rendimiento}) * 70(kW) \\ = 224(kWh) * 1/10,28(l/kWh) = 21,78 \text{ l} / 500 \text{ h.e} = \mathbf{0,04 \text{ l/h.e}}$$

6.1.3.4. *Ocupación del terreno*

En el caso de la arqueta de caudalímetro y sifón de descarga, la ocupación del terreno vendrá determinada por las dimensiones de las mismas, siendo la superficie total ocupada la siguiente:

$$\text{Superficie ocupada} = (3 * 2 + 2 * 2) / 500 = 0,02 \text{ m}^2 / h.e$$

6.1.4. Humedales flujo vertical

En la EDAR se disponen dos humedales de flujo vertical en paralelo. Cabe destacar que para realizar el inventario de los humedales se considera como un único humedal cuyas dimensiones son la suma de los dos humedales por separado, teniendo por tanto un humedal de 320 m². Los áridos utilizados son grava 30-32 mm y 3-8 mm pero debido a la falta de datos de las granulometrías, se considera que toda la grava es 30-32mm. Pese a que la superficie efectiva del humedal es de un tercio de las dimensiones actuales de cada humedal, se considera en este caso una superficie efectiva del 100%. Así mismo, se dispondrá una lámina de Caucho etileno-propileno-dieno (EPDM) para la impermeabilización del sistema. Además, existe una arqueta de recogida en cada uno de los dos humedales cuyo proceso de fabricación es el mismo que el de la arqueta de llegada. No se tendrán en cuenta las piedras de protección de la lámina ni otros materiales que no sean, grava, EPDM, tuberías de polietileno (PE) y hormigón.

6.1.4.1. Arqueta humedal vertical

Las dimensiones de ambas arquetas son: 1 metro de ancho, 1 metro de largo y 1 metro de alto. Considerando un espesor de 0,05 metros de hormigón, se obtiene:

$$\begin{aligned} m^3 \text{hormigón} &= (1 * 1 * 0,05 + 1 * 1 * 0,05 * 2 + 1 * 1 * 0,05 * 2) / 500 \text{ (h.e)} \\ &= 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{h.e (cada arqueta)} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{h.e (las dos)} \end{aligned}$$

El acero utilizado en la placa cierre arqueta se calcula de la misma manera que la placa de cierre de la arqueta de desbaste. Las dimensiones de esta arqueta son de 1 metros de largo, 1 metros de ancho y un grosor de 0,02 metros.

$$kg \text{acero placa} = (1 * 1 * 0,02) (m^3) * 7850 (kg/m^3) / 500 (h.e) = 0,314 kg/h.e$$

6.1.4.2. Fabricación humedal flujo vertical

Las dimensiones del humedal que se encuentra en la parte derecha de la planta tienen las siguientes dimensiones: 11,5 metros de ancho, 11,9 metros de largo y 1,2 metros de profundo. El humedal que se encuentra a la izquierda tiene 10 metros de ancho, 10,6 de largo y 1,2 metros de profundo. En este caso no se considera el aplanamiento del terreno.

El humedal está impermeabilizado con una lámina de EPDM de espesor 1,52mm y 2 láminas de geotextil de 300g/m² entre la lámina de EPDM. La lámina de geotextil está formada por polipropileno. En este caso, se precisa más cantidad de EPDM y geotextil debido que además de cubrir el suelo se han de cubrir los laterales (1,2 metros de altura) y sobrar material en la parte superior del humedal (se considerarán 0,5 metros). En la Figura 17 se muestra cómo ha de quedar dichos materiales.



Figura 17. Impermeabilización humedal.

Por tanto se necesitarán:

$$\begin{aligned} \text{Geotextil} &\rightarrow (11,5 * 11,9 + 10 * 10,6 + 1,2 * 11,5 * 2 + 1,2 * 11,9 * 2 + 10 * \\ &1,2 * 2 + 10,6 * 1,2 * 2 + 0,5 * 2 * 11,5 + 0,5 * 2 * 11,9 + 0,5 * 10 * 2 + 0,5 * 2 * \\ &10,6) * 300g/m^2 = 117,735 kg/500he = 0,2354 kg/ \\ h.e &\rightarrow \text{como son dos capas} = 0,4709 kg/h.e \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EPDM} &\rightarrow (11,5 * 11,9 + 10 * 10,6 + 1,2 * 11,5 * 2 + 1,2 * 11,9 * 2 + 10 * \\ &1,2 * 2 + 10,6 * 1,2 * 2 + 0,5 * 2 * 11,5 + 0,5 * 2 * 11,9 + 0,5 * 10 * 2 + 0,5 * 2 * \\ &10,6) * 0,00152 = 0,5965m^3 * 135 kg/m^3 = 80,53 kg/500he = 0,161 kg/h.e \end{aligned}$$

Para el cálculo de la cantidad de grava necesaria se considera la misma grava para toda la superficie. Por tanto, se necesitan:

$$\begin{aligned} \text{Grava} &= 11,5 * 11,9 * 1 + 10 * 10,6 * 1 = 242,85 m^3 * 1300 kg/m^3 \\ &= 315705 kg/500 h.e = 631,41 kg/h.e \end{aligned}$$

6.1.4.3. Tuberías

Se necesitan 112 metros de tuberías para las conducciones que corresponden a los humedales verticales. Se utilizan tuberías de PE de 110 mm de diámetro y espesor 3,0 mm.

$$Kg PE = 0,01 m^2 * 112m * 790 kg/m^3 = 1,77 kg/he$$

6.1.4.4. *Excavación*

El terreno excavado corresponde a la suma de las dimensiones de los dos humedales verticales y las arquetas de cada uno de ellos, siendo en total: 293,42 m³. Los litros de diésel se calculan de la misma manera que en los apartados anteriores.

$$293,42(m^3) \times 0,12(h/m^3) * 1/0,9(rendimiento) * 70(kW) = \mathbf{0,533\ l/he}$$

6.1.4.5. *Ocupación del terreno*

Los humedales de flujo vertical ocupan un total de 244,85m² por lo que tendrán un peso bastante más relevante que el resto de los procesos. siendo la superficie total ocupada la siguiente:

$$Superficie\ ocupada = 0.84m^2/h.e$$

6.1.5. Humedal flujo horizontal

Se dispone un humedal de flujo horizontal de 300 m². Del mismo modo que en los humedales verticales, la grava a utilizar será grava 30/32 mm. Así mismo, se tiene vegetación acuática emergente (Typha).

6.1.5.1. *Arqueta humedal horizontal*

Se obtienen las cantidades de hormigón igual que en el apartado Arqueta humedal vertical.

$$\begin{aligned} m^3\text{hormigón} &= (1 * 1 * 0,05 + 1 * 1 * 0,05 * 2 + 1 * 1 * 0,05 * 2)/500 (h.e) \\ &= 5 \times 10^{-4} m^3/h.e \end{aligned}$$

El acero utilizado en la placa cierre arqueta se calcula de la misma manera que la placa de cierre de la arqueta de desbaste. Las dimensiones de esta arqueta son de 1 metros de largo, 1 metros de ancho y un grosor de 0,02 metros.

$$kg\text{aceroplaca} = (1 * 1 * 0,02)(m^3) * 7850(kg/m^3)/500(h.e) = 0,314kg/h.e$$

6.1.5.2. *Fabricación humedal flujo horizontal*

Se utilizan los mismos materiales que en el humedal de flujo horizontal, por lo que se obtiene que las cantidades necesarias son:

$$Kg \text{ de Geotextil} = 0.5337 \text{ kg/h.e}$$

$$Kg \text{ de EPDM} = 0.183 \text{ kg/h.e}$$

$$Kg \text{ de Grava} = 687,96 \text{ kg/h.e}$$

6.1.5.3. Tuberías

Se precisan 8 metros de tubería para tramo en superficie y cabecera del humedal. Las tuberías utilizadas tienen un diámetro de 110 mm y un espesor de 3,9 mm.

$$Kg \text{ PE} = 0,01 \text{ m}^2 * 8 \text{ m} * 790 \text{ kg/m}^3 = 63,2 \text{ kg/500 he} = 0,1264 \text{ kg/he}$$

6.1.5.4. Excavación

Se excavan para el humedal y las tuberías. Por lo que teniendo en cuenta las dimensiones de cada uno de ellos se estima que se necesitará excavar 337,75 m³

$$337,35(\text{m}^3) \times 0,12(\text{h/m}^3) * 1/0,9(\text{rendimiento}) * 70(\text{kW}) = \mathbf{0,613 \text{ l/he}}$$

6.1.5.5. Ocupación del terreno

Del mismo modo que los humedales de flujo vertical, el humedal horizontal presenta grandes dimensiones por lo que será otro de los procesos que probablemente más contribuya a dicho impacto ambiental. La superficie total ocupada la siguiente:

$$\text{Superficie ocupada} = 1.09 \text{ m}^2/\text{h.e}$$

6.1.6. Almacenamiento

El proceso de fabricación de la laguna de almacenamiento se basa en la excavación del terreno ocupado por la misma, la colocación de una solera de hormigón y su posterior impermeabilización con pintura impermeabilizante. Del mismo modo que en los casos anteriores, no se considera la retirada de material sobrante así como los rellenos con material de excavación. El hormigón utilizado será el mismo que en el caso de la arqueta.

6.1.6.1. Laguna de almacenamiento

Las dimensiones de la laguna de almacenamiento son 20 metros de largo, 10 metros de ancho y 1 metro de profundo. Se considera un espesor de 0,04 metros de hormigón

$$m^3 \text{ hormigón} = (20 * 10 * 0,04)/500(h.e) = 0,016m^3/h.e$$

Se propone realizar la impermeabilización con pintura impermeabilizante. Del mismo modo que en la fosa séptica, debido a que no se ha encontrado este producto en las bases del SimaPro se ha decidido escoger un barniz acrílico sin agua el cual también puede ser utilizado como impermeabilizante.

Los kilogramos de barniz acrílico se obtienen a partir de las dimensiones de las paredes que se desean impermeabilizar y un espesor de 60 micras aproximadamente.

$$Kg \text{ (barniz)} = ((20 * 1 * 2 * 6x10^{-5}) + (10 * 1 * 2 * 6x10^{-5})) \\ * 1040 (kg/m^3)/500 (h.e) = 0,007488 (kg/h.e)$$

6.1.6.2. *Excavación*

Se necesita por tanto, excavar 200 m³. Por tanto, se obtiene:

$$200 m^3 * 0.12 h/m^3 * 1/0.9 * 70kW = 186.67 kWh * 1l/10.28kW = \\ = 18.16 l/500 = \mathbf{0.36 l/he}$$

6.1.6.3. *Ocupación del terreno*

La laguna de almacenamiento presenta una superficie total ocupada bastante similar a los humedales, siendo esta:

$$Superficie ocupada = 1.09 m^2/h.e$$

6.1.7. *Zonas de paso y conducciones*

En este apartado se muestran los materiales necesarios para la construcción de las zonas de acceso y protección de la depuradora y las conexiones que se han de realizar para el transporte del agua de un punto a otro.

6.1.7.1. *Conducciones*

Las conexiones se realizarán con tuberías de Polietileno de diámetro 160 mm y espesor 3,9 mm. Los metros necesarios son los que se detallan a continuación:

- Desde el desbaste hasta la fosa séptica se estiman necesarios en total unos 2 metros aproximadamente puesto que se encuentran muy cercanos ambos puntos.
- Desde la fosa séptica a la arqueta sifón y la arqueta de caudalímetros se estiman unos 3 metros en total.

- Desde la arqueta sifón hasta los humedales verticales se precisan unos 30 metros en total.

- Desde los humedales verticales hasta el humedal horizontal son necesarios 20 metros de tubería.

- Finalmente desde el humedal horizontal hasta la laguna de almacenamiento se necesitan 3 metros.

- Total= 58 metros de tubería.

$$Kg\ PE = 0,01225\ m^2 * 58m * 790\ kg/m^3 = 561,295kg/500\ he = 1,123\ kg/he$$

6.1.7.2. *Excavación*

Teniendo en cuenta las dimensiones se estima que se la superficie total a excavar asciende a 14,5 m³. Por tanto, se obtiene:

$$\begin{aligned} 14.5\ m^3 \times 0.12\ h/m^3 * 1/0.9 * 70kW &= 135.33\ kWh * 1l/10.28kWh \\ &= 13.16\ l/500\ he = \mathbf{0.026\ l/he} \end{aligned}$$

6.1.7.3. *Ocupación del terreno*

En este apartado se tendrá en cuenta el total de metros necesarios para tuberías que sirvan como conexiones entre los diferentes procesos de la EDAR:

$$Superficie\ ocupada = (58 * 0,5)/500 = 0,058m^2/h.e$$

6.1.7.4. *Zonas de paso*

Se denomina zonas de paso a las partes que se ha tenido que acondicionar para que el terreno se encuentre en las condiciones óptimas para transitar si fuera necesario. Por ejemplo, para la toma de muestras. Además, en este apartado se considerarán también la protección del terreno mediante vallas que lo recubren.

La dimensión total del terreno es 2333 m². Estos datos son datos aproximados obtenidos mediante Graf Can Visor. Si a esto le descontamos las zonas en donde se encuentran los equipos de depuración se tiene que la parcela a acondicionar es de 696 m².

Para el acondicionamiento de la parcela se efectuará el desbroce y la limpieza de la misma mediante una pala cargadora sobre neumáticos.

Sabiendo que el rendimiento de la pala cargadora es de 0.021h/m³, se pueden calcular la cantidad de horas necesarias para excavar dicho terreno. Además se conoce que la potencia de la misma es 120 kW por lo que si multiplicamos el tiempo necesario por la potencia obtenemos los kWh necesarios. (considerar un rendimiento del 90%)

Como el combustible utilizado por dicha maquinaria es gasóleo, si obtenemos el PCI del mismo, podemos obtener los litros de combustible necesarios.

$$696m^2 \times 0.021 \text{ h/m}^2 * 1/0.9 * 120kW = 5743.44 \text{ kWh} * 1l/10.28kWh \\ = 558.7 \text{ l/500 h.e} = \mathbf{0.38 \text{ l/h.e}}$$

La valla utilizada para colocarla alrededor de toda la parcela es una malla electrosoldada plana gris de huecos cuyas dimensiones son de 2.6 metros de ancho por 2 metros de alto.

Teniendo en cuenta que el perímetro de la parcela es de 282.4 m, se necesitarán unas 109 vallas prefabricadas de acero. Puesto que cada malla tiene un peso de 18.41 kg, suman un total de 2006.7 kg.

$$kg \text{ acero reja} = 2006.7/500(h.e) = 4 \text{ kg/h.e}$$

6.1.7.5. *Ocupación del terreno*

En este apartado se tiene en cuenta todo el terreno que se ha tenido que acondicionar para que se pudiera tener un fácil acceso a todos los procesos que componen la EDAR. Previamente se ha calculado dicha cantidad puesto que fue necesaria para conocer el gasoil empleado en acondicionar la parcela. Por tanto se obtiene:

$$Superficie \text{ ocupada} = 696/500 = 1,4 \text{ m}^2/h.e$$

6.1.8. *Transporte*

En este apartado se exponen los kilómetros que recorre cada uno de los materiales que se utilizan en la depuradora. Los datos escogidos proceden de casos reales de empresas locales en donde se encuentran dichos materiales. Las distancias recorridas se han obtenido mediante el Google Maps.

El hormigón que se va a utilizar se transporta desde la cementera de Arguineguín. Siendo la distancia total desde un punto a otro de 47,8 km. La cantidad que se ha de transportar es de 0,07037m³/h.e.

$$0,070m^3/h.e * 150kg/m^3 = 9.45 \text{ kg/h.e} \rightarrow (9.45 * 47.8) \text{ kgkm}$$

El acero y la pintura se encuentran en el polígono industrial de Arinaga, en este caso no se especifica una empresa en concreto puesto que en este polígono hay variedad de empresas que se dedican al mismo sector y las distancias varían muy poco. En total hay 28 km desde este polígono hasta el SDN. La suma de todos los aceros inoxidables y de la pintura resultan aproximadamente 20 kilogramos.

La grava se obtiene de la machacadora o bien la de pozo izquierdo que se encuentra a 23,7 km.

Las tuberías serán proporcionadas por Sisoscan el Goro, encontrándose a 33,6 km de distancia del SDN.

Debido a que el EPDM no es fabricado en Gran Canaria, se propone considerar el transporte del mismo desde su lugar de fabricación.

La empresa de fabricación de este material se llama Rial extrusión técnica y se encuentra ubicada en Madrid. La distancia total entre dicha empresa y el SDN de Santa Lucía es de 2100 kilómetros de los cuales 1295 son en barco y el resto en carretera.

Por carretera $\rightarrow (0,46 \cdot 805 \text{ km}) \text{ kgkm}$

En Barco $\rightarrow (0,46 \cdot 1295) \text{ kgkm}$

El geotextil no es fabricado en Gran Canaria por tanto, se considera el transporte del mismo desde su lugar de fabricación. Se ha escogido la empresa Tingeo puesto que se encuentra localizada en Sevilla y por cercanía a las islas y por la variedad de sus productos resulta la empresa más completa. La distancia total entre La empresa y el SDN de Santa Lucía es de 1476 kilómetros de los cuales 181 km son por carretera y el restante en barco.

Por carretera $\rightarrow (1,18 \cdot 181) \text{ kgkm}$

En barco $\rightarrow (1,18 \cdot 1295) \text{ kgkm}$

6.1.9. Mantenimiento y explotación

A continuación, se detallan los cálculos realizados para obtener los residuos/subproductos generados como consecuencia del mantenimiento y explotación de la depuradora. Los procesos de acondicionamiento de cada una de las etapas quedan detallados en el apartado: Generación de residuos y subproductos.

Reja de desbaste: La cantidad de residuos extraídos semanalmente es de 10 kilogramos aproximadamente, por tanto:

$$10 \text{ kg/semana} \cdot 52 \text{ semanas/año} \cdot 1/500 \text{ h.e} = 1,04 \text{ kg}/(\text{año} \cdot \text{h.e})$$

Fosa séptica: Los residuos generados en esta etapa equivalen a 1/3 del volumen de la fosa séptica, en consecuencia se tiene:

$$\begin{aligned} 85 \text{ m}^3 \cdot 1/3 &= 28,33 \text{ m}^3 \text{ de fangos} \cdot 550 \text{ kg/m}^3 = 15583,33 \text{ kg}/500 \text{ h.e} \\ &= 31,16 \text{ kg}/\text{h.e} \cdot \text{año} \end{aligned}$$

Humedal flujo vertical: Todos los meses se alternan los humedales por lo que se ha de realizar una limpieza mensual de los restos que se depositan sobre los mismos. Se calcula que aproximadamente se extraen 15 kilogramos de residuos al mes.

$$15 \text{ kg/mes} \cdot 12 \text{ meses/año} \cdot 1/500 \text{ h.e} = 0,36 \text{ kg}/(\text{año} \cdot \text{h.e})$$

Humedal flujo horizontal: La cantidad de Typha extraída cada 6 meses se ha obtenido podando una superficie conocida y pensando esta cantidad.

$$\begin{aligned} 9,59kg/m^2 * 330,75m^2 &= 1653,75kg/6meses * 12 meses/1 año * 1/500h.e \\ &= 12,7 kg/(año \cdot h.e) \end{aligned}$$

6.2. Anexo II: Resumen analíticas EDAR Santa Lucía en el año 2018.

En la Figura 18. se muestra un esquema de la depuradora de Santa Lucía. Además, se observan los puntos de muestreo.

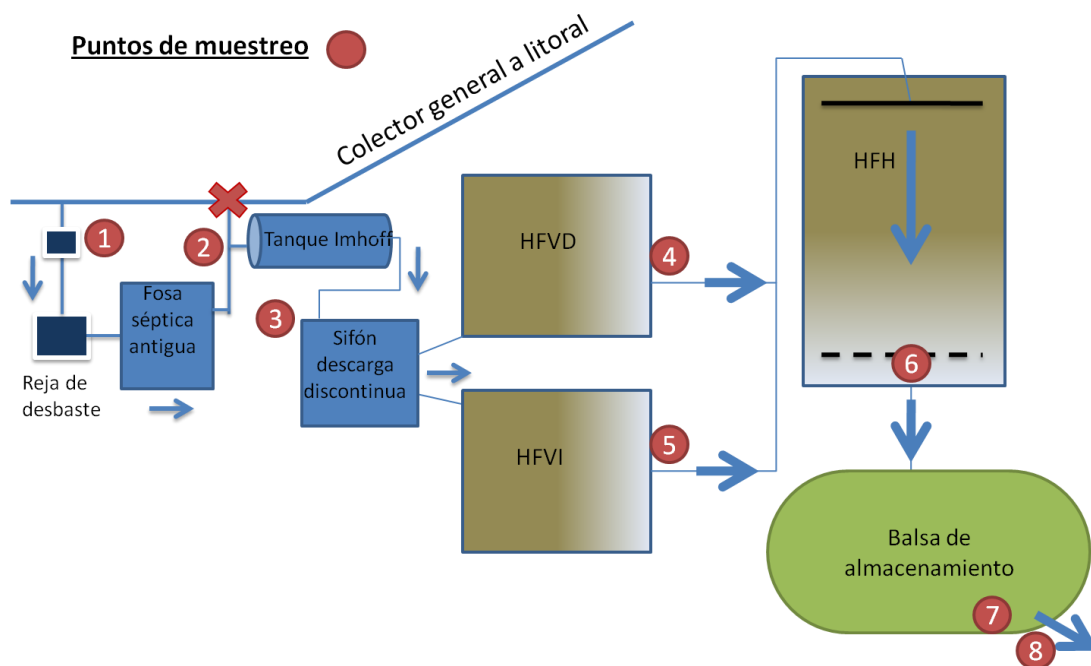


Figura 18. Puntos de muestreo de la EDAR.

A continuación, se muestran las tablas en donde se recogen los valores promedio de los parámetros analizados en los diferentes puntos de muestreo.

Tabla 7. Resumen de valores indicativos de las aguas a entrada de la planta (punto de muestreo 1).

	Valor promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Caudal (m ³ /día), n=0	-	-	-	-
DBO ₅ (mg/l), n=11	761,47	1080	340	228,39
Carga contaminante (kg DBO ₅ /día)	-	-	-	-
DQO (mg/l), n=11	1248,32	2216,5	647	500,71
Relación DBO ₅ /DQO	0,64	0,83	0,43	0,12
SS (mg/l), n=14	482,20	1914,5	105	5030,16
Turbidez (NTU), n=9	353,81	659,5	153	329,22
NT (mg/l), n=13	111,14	175,1	74,5	30,83
NH ₄ (mg/l), n=13	75,81	113,5	55,15	18,52
P _T (mg/l), n=13	15,69	33,05	10,39	6,19
Aceites y grasas (mg/l), n=4	54,12	125,5	18,25	30,89
pH, n=14	7,65	8,12	7,09	0,31
Conductividad (μS/cm), n=14	1364,17	2225,5	1047,5	329,22

Tabla 8. Resumen de valores indicativos de las aguas a la salida de la fosa séptica (punto de muestreo 2).

	Valor promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Caudal (m ³ /día), n=0	-	-	-	-
DBO ₅ (mg/l), n=11	524,79	717,5	280	132,31
Carga contaminante (kg DBO ₅ /día)	-	-	-	-
DQO (mg/l), n=11	751,62	957	436	143,38
Relación DBO ₅ /DQO	0,70	0,83	0,52	0,09
SS (mg/l), n=14	147,80	280	72	57,82
Turbidez (NTU), n=9	197,55	315,5	114	60,82
NT (mg/l), n=13	96,14	151	66,45	96,14
NH ₄ (mg/l), n=13	71,15	80,2	52,3	8,50
P _T (mg/l), n=13	12,53	14,6	8,50	1,57
Aceites y grasas (mg/l), n=4	38,57	115	8	29,21
pH, n=14	6,87	7,035	6,75	0,09
Conductividad (μS/cm), n=14	1279,63	1455,55	902,5	156,18

Tabla 9. Resumen de valores indicativos de las aguas a la entrada del humedal vertical (punto de muestreo 3)

	Valor promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Caudal (m ³ /día), n=0	-	-	-	-
DBO ₅ (mg/l), n=11	426,59	605	167,5	125,52
Carga contaminante (kg DBO ₅ /día)	-	-	-	-
DQO (mg/l), n=11	646,14	891	316	161,45
Relación DBO ₅ /DQO	0,66	0,89	0,42	0,13
SS (mg/l), n=14	107,18	193	41	41
Turbidez (NTU), n=9	162,25	273	90,75	50,20
NT (mg/l), n=13	90,48	115	56,85	16,41
NH ₄ (mg/l), n=13	74,07	86,2	50,6	10,14
P _T (mg/l), n=13	12,38	14,45	8,84	1,50
pH, n=14	6,92	7,03	6,79	0,08
Conductividad (μS/cm), n=14	1320,91	1552	944	171,40

**Tabla 10. Resumen de valores indicativos de las aguas a la salida del humedal vertical derecho
(punto de muestreo 4) Entrada humedal flujo horizontal.**

	Valor promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Caudal (m ³ /día), n=0	-	-	-	-
DBO ₅ (mg/l), n=11	243,59	292,5	195	35,63
Carga contaminante (kg DBO ₅ /día)				
DQO (mg/l), n=11	369,79	486,5	323	57,26
Relación DBO ₅ /DQO				
SS (mg/l), n=14	41,54	58	29	11,28
Turbidez (NTU), n=9	79,32	142,55	38,20	34,83
NT (mg/l), n=13	79,46	93,1	69,45	8,52
NH ₄ (mg/l), n=13	63,2	73,6	54,4	6,58
P _T (mg/l), n=13	12,64	15,35	10,20	1,93
pH, n=14	6,93	7,03	6,85	0,06
Conductividad (μS/cm), n=14	1424,38	1706	1239	172,58

**Tabla 11. Resumen de valores indicativos de las aguas a la salida del humedal vertical izquierdo
(punto de muestreo 5)**

	Valor promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Caudal (m ³ /día), n=0				
DBO ₅ (mg/l), n=11	162,43	277,5	77,5	64,73
Carga contaminante (kg DBO ₅ /día)				
DQO (mg/l), n=11	295,36	530,5	170	115,27
Relación DBO ₅ /DQO				
SS (mg/l), n=14	47,12	68	27	14,02
Turbidez (NTU), n=9	61,33	92,75	34,6	21,01
NT (mg/l), n=13	66,82	85,1	44,15	12,88
NH ₄ (mg/l), n=13	54,74	79,65	30,7	14,34
P _T (mg/l), n=13	10,55	12,35	7,39	1,63
pH, n=14	6,98	7,18	6,8	0,12
Conductividad (μS/cm), n=14	1163,33	1296	701,5	206,69

Tabla 12. Resumen de valores indicativos de las aguas a la salida del humedal horizontal (punto de muestreo 6)

	Valor promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Caudal (m ³ /día), n=0				
DBO ₅ (mg/l), n=11	70,84	117	37,5	28,65
Carga contaminante (kg DBO ₅ /día)				
DQO (mg/l), n=11	140,69	198,5	113	27,73
Relación DBO ₅ /DQO				
SS (mg/l), n=14	7,47	21	1,5	6,03
Turbidez (NTU), n=9	26,29	43,3	7,98	11,48
NT (mg/l), n=13				
NH ₄ (mg/l), n=13	119,19	313,75	50,7	111,11
P _T (mg/l), n=13	13,05	15,4	9,22	1,85
pH, n=14	7,13	7,36	6,95	0,14
Conductividad (μS/cm), n=14	1416,51	1890,5	1205,5	229,51